



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA**

**CENTRO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**

**METODOLOGIA PARA LA PROTECCION DE TALUDES EN  
CARRETERAS DE MONTAÑA**

**AUTOR: MARCO VINICIO CARRIÓN LIMONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**

**TUTOR: ING. JORGE ALBUJA SÁNCHEZ**

**MACHALA**

**2023**

## **PENSAMIENTO**

“La suma de varias ideas genera oportunidades de crecimiento a través de la investigación y las ganas del ser humano por mejorar continuamente”

Marco Vinicio Carrió Limones

## **DEDICATORIA**

A mis padres que me han dado la existencia; y en ella la capacidad por superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy.

A mis maestros y amigos; que en el andar por la vida nos hemos ido encontrando; porque cada uno de ustedes ha motivado mis sueños y esperanzas en consolidar un mundo más humano y justo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Técnica de Machala, por haberme aceptado ser parte de ella y haber abierto las puertas de su claustro científico y estudiar en este excelente programa de maestría; a sus docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir día a día en la búsqueda de nuevos horizontes.

Al Sr. Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, coordinador del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, por su paciencia y orientación permanente en la organización de las actividades académicas y logísticas

Al Sr. Ing. Jorge Albuja Sánchez, tutor de este trabajo de titulación, por su capacidad y oportuna orientación en el desarrollo de esta investigación.

A los compañeros de la Maestría por sus aportes brindados en las clases y tareas, que me han permitido acrecentar mi amistad y apoyo moral en esta etapa de nuestras vidas.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusión y propuesta emitidos en este informe del trabajo de investigación titulado “MODELO PARA LA PROTECCIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS DE MONTAÑA.”, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Marco Vinicio Carrión Limones

C.I. 0702623539

Machala, 2023/06/18

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “MODELO PARA LA PROTECCIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS DE MONTAÑA.” elaborado por el Ing. Marco Vinicio Carrión Limones, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.

Ing. Jorge Albuja Sánchez  
C.C. 1708551995

Machala, 2023/06/18

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Ing. Marco Vinicio Carrión Limones, con cédula de ciudadanía No.- 0702623539, manifiesto en forma libre y voluntaria, ceder a la Universidad Técnica de Machala, los derechos de autor, consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículo 4, 5, y 6 en calidad de autora del trabajo de titulación denominado “MODELO PARA LA PROTECCIÓN DE TALUDES EN CARRETERAS DE MONTAÑA.”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magíster en Ingeniería Civil, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada, en concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica de Machala.

Marco Vinicio Carrión Limones

C.I. 0702623539

Machala, 2023/06/18

## RESUMEN

La presente investigación se centra en el desarrollo de un modelo de protección de taludes para las carreteras de montaña en la provincia de El Oro, Ecuador. Su importancia radica en minimizar los riesgos de deslizamientos y asegurar la seguridad vial en estas zonas, considerando las características geológicas, geotécnicas y climáticas específicas del área. El objetivo principal de esta investigación es elaborar un modelo de protección de taludes mediante el análisis de las condiciones del terreno. Para lograrlo, se establecieron objetivos específicos como realizar un análisis bibliográfico de los factores que contribuyen a los deslizamientos de taludes, caracterizar los tipos de protección de taludes que evitan daños en las carreteras de montaña, y diseñar un modelo adaptado a las características específicas de la región. El análisis bibliográfico permitió identificar los factores clave, como el tipo de suelo, la pendiente, el clima, entre otros, que influyen en los deslizamientos de taludes. Esto proporcionó una base sólida para el desarrollo del modelo de protección. Además, se caracterizaron diferentes tipos de medidas de protección, tales como la cubierta vegetal, el drenaje, los muros de contención, las bermas, los anclajes y las mallas, el reforzamiento de suelos y el hormigón lanzado. Mediante un análisis detallado de las condiciones geológicas, geotécnicas y climáticas de la región, se diseñó un modelo adaptado a las necesidades de las carreteras de montaña en El Oro, Ecuador. Se tuvieron en cuenta aspectos como la estabilidad del terreno, la capacidad de retención de las medidas de protección, la durabilidad de los materiales utilizados y la disponibilidad de recursos y financiamiento. Los resultados obtenidos indicaron que la zona estudiada presenta un riesgo medio en cuanto a deslizamientos de taludes. Aunque existen elementos de vulnerabilidad y riesgo, no alcanzan un nivel crítico. Por tanto, se recomienda considerar dos opciones principales de protección de taludes: la construcción de muros de contención o la creación de bermas. Sin embargo, es necesario realizar un análisis detallado para determinar cuál de estas opciones es más viable desde diferentes perspectivas, como tiempos de construcción, presupuestos, vida útil y la importancia de su implementación. El análisis a detalle permitirá evaluar los beneficios y las limitaciones de cada opción, considerando los aspectos técnicos, económicos y de seguridad. Se deben tener en cuenta factores como la estabilidad del terreno, la capacidad de retención de los muros de contención, la efectividad de las bermas en el control de deslizamientos, la durabilidad de los materiales utilizados y la disponibilidad de recursos y financiamiento.

Palabras claves: protección de taludes, carreteras de montaña, deslizamiento de taludes, estudio de suelos, riesgo

## ABSTRACT

The present research focuses on the development of a slope protection model for mountain roads in the province of El Oro, Ecuador. Its importance lies in minimizing the risks of landslides and ensuring road safety in these areas, considering the specific geological, geotechnical, and climatic characteristics of the area. The main objective of this research is to develop a slope protection model through the analysis of terrain conditions. To achieve this, specific objectives were established, such as conducting a bibliographic analysis of the factors contributing to slope landslides, characterizing the types of slope protection that prevent damage to mountain roads, and designing a model adapted to the specific characteristics of the region. The bibliographic analysis identified key factors, such as soil type, slope, climate, among others, that influence slope landslides. This provided a solid foundation for the development of the protection model. In addition, different types of protection measures were characterized, including vegetation cover, drainage, retaining walls, berms, anchors and meshes, soil reinforcement, and shotcrete. Through a detailed analysis of the geological, geotechnical, and climatic conditions of the region, a model adapted to the needs of mountain roads in El Oro, Ecuador, was designed. Aspects such as terrain stability, retention capacity of the protection measures, durability of the materials used, and availability of resources and financing were taken into account. The results indicated that the studied area presents a medium risk of slope landslides. Although there are elements of vulnerability and risk, they do not reach a critical level. Therefore, two main options for slope protection are recommended: the construction of retaining walls or the creation of berms. However, a detailed analysis is necessary to determine which of these options is more viable from different perspectives, such as construction time, budgets, lifespan, and the importance of implementation. The detailed analysis will allow evaluating the benefits and limitations of each option, considering technical, economic, and safety aspects. Factors such as terrain stability, retention capacity of retaining walls, effectiveness of berms in landslide control, durability of materials used, and availability of resources and financing must be taken into account.

Keywords: slope protection, mountain roads, slope landslide, soil study, risk.

## ÍNDICE

<b>PENSAMIENTO</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>III</b>
<b>RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA</b>	<b>IV</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</b>	<b>V</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR</b>	<b>VI</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>5</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	5
1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES	7
1.3. ANTECEDENTES CONTEXTUALES	20
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>25</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
2.1. TIPO DE ESTUDIO	25
2.2. ENFOQUE	25
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	26

2.4.	MÉTODOS _____	26
2.5.	OPERACIÓN DE VARIABLE _____	28
2.6.	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN _____	30
<b><i>CAPITULO III</i></b> _____		<b>31</b>
<b>3.</b>	<b><i>PROPUESTA METODOLÓGICA</i></b> _____	<b>31</b>
3.1.	DATOS INFORMATIVOS _____	31
3.2.	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA _____	31
3.3.	JUSTIFICACIÓN _____	32
3.4.	OBJETIVOS _____	33
3.5.	FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA - TÉCNICA _____	33
3.6.	MODELO PARA PROTECCION DE TALUD _____	35
<b><i>CAPÍTULO IV</i></b> _____		<b>39</b>
<b>4.</b>	<b><i>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</i></b> _____	<b>39</b>
4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS _____	39
4.2.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS _____	48
<b><i>CONCLUSIONES</i></b> _____		<b>52</b>
<b><i>RECOMENDACIONES</i></b> _____		<b>54</b>
<b><i>REFERENCIAS</i></b> _____		<b>55</b>
<b><i>ANEXOS</i></b> _____		<b>62</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variable Dependiente .....	28
Tabla 2	Variable independiente .....	29
Tabla 3	Modelo de protección de Talud .....	35
Tabla 4	Valoración de Análisis Geotécnico .....	36

Tabla 5 Valoración de inspección visual.....	36
Tabla 6 Valoración de Análisis de vulnerabilidad.....	37
Tabla 7 Factores y calificación de riesgo de deslizamiento .....	38
Tabla 8 Modelo de protección en función al riesgo .....	38
Tabla 9 Resumen de estudios de suelo .....	40
Tabla 10 Valoración de tipo de suelo .....	49
Tabla 11 Resultados de la inspección visual .....	49
Tabla 12 Modelo de protección de Talud.....	51

### **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Talud natural.....	11
Ilustración 2 Talud artificial .....	11
Ilustración 3 Vuelo fotogramétrico.....	39
Ilustración 4 Sitio 1.....	42
Ilustración 5 Sitio 2.....	43
Ilustración 6 Sitio 3.....	43
Ilustración 7 Sitio 4.....	44
Ilustración 8 Mapa red vial del Ecuador.....	45
Ilustración 9 Fallas Geológicas Ecuador .....	47
Ilustración 10 Pluviometría media anual en el Ecuador. ....	48
Ilustración 11 Corte de talud .....	62
Ilustración 12 Inspección de zona de estudio .....	64
Ilustración 13 Inspección de zona de estudio .....	64
Ilustración 14 Inspección de zona de estudio .....	65
Ilustración 15 Inspección de zona de estudio .....	65

Ilustración 16 Inspección de zona de estudio .....	66
Ilustración 17 Inspección de zona de estudio .....	66
Ilustración 18 Inspección de zona de estudio .....	67
Ilustración 19 Inspección de zona de estudio .....	67
Ilustración 20 Inspección de zona de estudio .....	68

## INTRODUCCIÓN

En el caso de las carreteras, existen problemas asociados con la estabilidad de los taludes y terraplenes. Varios estudios han abordado este tema dada su importancia social, económica y ambiental en la gestión vial. (Craig & Filho, 2020) Es así que la ingeniería de taludes toma hoy en día importancia debido a los factores principales en la optimización de obras viales. Los procesos que provocan la inestabilidad de pendientes debido a la influencia del agua son complejos y difíciles de medir en grandes áreas. La ocurrencia de deslizamientos está directamente relacionada con los niveles de precipitación y depende de las propiedades del suelo. Además, la susceptibilidad al deslizamiento del terreno es un factor clave en la inestabilidad a lo largo de los corredores viales. La construcción de la carretera también juega un papel importante, ya que puede aumentar el peso sobre la cabeza del talud con los depósitos de relleno, aumentar el ángulo del talud con excavaciones, eliminar el soporte del talud en los cortes de la carretera y alterar las trayectorias de escorrentía superficial, lo que incluye el aumento de la profundidad y las tasas de escorrentía. (Irigaray et al., 2000)

Los deslizamientos de tierra son un tipo de peligro natural muy perjudicial que se produce en muchos países y que causa la pérdida de vidas y bienes materiales. Los deslizamientos de tierra generan una mayor pérdida de bienes materiales anualmente que otros tipos de peligros naturales, como terremotos e inundaciones. En todo el mundo, los deslizamientos de tierra ocasionan daños por cientos de miles de millones de dólares y miles de víctimas y fallecimientos cada año, además de ocasionar importantes daños ambientales. (Chen et al., 2017)

La problemática de la investigación sigue vigente y seguirá vigente cada vez que se produzca una apertura de una vía. para lo que debemos utilizar la tecnología en el campo constructivo como en el campo teórico. Los taludes los encontramos en obras de ingeniería civil vinculadas a vías en montañas. En obras viales, la ejecución del movimiento de tierras o desmonte puede cambiar de manera significativa a lo largo de la obra e incluso se puede modificar el trazado.

Las carreteras de montaña se enfrentan a una serie de problemáticas relacionadas con los deslizamientos de tierras en taludes. Estos deslizamientos pueden poner en peligro la infraestructura vial y representar riesgos para la seguridad de los conductores. Algunas de las

problemáticas específicas son la inestabilidad del terreno debido a factores como la composición del suelo, la presencia de agua y la pendiente del terreno. Esto puede conducir a deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas que amenazan la integridad de la carretera, también la erosión causada por el agua puede debilitar los taludes de los cerros a lo largo de las carreteras de montaña. Esto puede provocar deslizamientos de tierra y desprendimientos de rocas, especialmente durante períodos de lluvia intensa. Otro de los factores es el mantenimiento y monitoreo de las carreteras de montaña las cuales servirán para prevenir y mitigar los deslizamientos de tierra.

La formulación del problema plantea la necesidad de investigar y comprender los factores que desencadenan los deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña, así como identificar estrategias y medidas eficaces para prevenir y mitigar estos eventos. La investigación científica podría abordar aspectos como la geología y composición del suelo, la influencia de la erosión y la presencia de agua, los cambios climáticos, métodos de estabilización y monitoreo de los taludes. El objetivo final sería proporcionar recomendaciones basadas en evidencias para fortalecer la infraestructura vial y garantizar la seguridad de las carreteras de montaña en áreas propensas a los deslizamientos de tierra. Es así que nos planteamos como problema científico: ¿Cuáles son los factores clave que contribuyen a la protección de deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña y cómo pueden prevenirse y mitigarse de manera efectiva?

El objeto de estudio es la protección de taludes de la vía E-585 Buenavista-Paccha-Zaruma ya que esto evitará daños en las carreteras de montaña por efectos de humedad, movimientos telúricos o por los trabajos realizados mediante el uso de maquinaria, pendientes inadecuadas, falta de construcción de drenajes, inadecuado o ineficiente mantenimiento, el mal uso del suelo sobre los taludes con sembríos sin un riego apropiado o con asientos poblacionales sin adecuados sistemas de eliminación de aguas servidas.

El objetivo general de la investigación fue el diseñar un modelo para protección de taludes en carreteras de montaña. La investigación se realizó en Ecuador, provincia de El Oro, en la vía E-585 Buenavista-Paccha-Zaruma. En la historia de nuestro país han ocurrido deslizamientos los cuales han causado muertes, heridos y pérdidas económicas por la obstaculización de las vías, es por esto que dentro del plan de investigación se pretende abordar

el tipo de protección de taludes que evitará daños en carreteras de montaña, para lo cual como objeto de investigación se ha seleccionado la vía E-585 Buenavista-Paccha-Zaruma, ubicada en la provincia de El Oro.

La determinación de las condiciones de estabilidad de laderas naturales es un objetivo importante de los estudios de riesgos de origen geológico. En ausencia de intervención humana, la frecuencia e importancia de los deslizamientos del terreno suele ir ligada a zonas de relieve montañoso, a la intensidad y duración de precipitaciones (y efectos asociados a estas: erosión en cauces) y a ciertas formaciones litológicas especialmente sensibles a los movimientos. Como ejemplo, muchas laderas disponen sin duda de un escaso margen de seguridad frente a movimientos, margen que se agotará preferentemente con ocasión de un fenómeno hidrológico extraordinario a consecuencia de la acción simultánea de una erosión de pie y una elevación generalizada de niveles piezométricos.

Los conceptos en la presente investigación se basan en la revisión de artículos bibliográficos relacionados al tema de investigación. Las preguntas científicas que se plantearon para esta investigación fueron ¿Qué tipo de protección de taludes evitará daños en las carreteras de montaña?, ¿Cuáles son los principales factores geológicos y geotécnicos que contribuyen a los deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña?, ¿Cuáles son los métodos más efectivos para la estabilización de los taludes en carreteras de montaña propensas a los deslizamientos de tierra?, ¿Cuál es el modelo para protección de taludes en vías en carreteras de montaña?.

Para el desarrollo de esta investigación se plantearon cuatro capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo 1 se muestra el marco donde proporciona una introducción al tema de los deslizamientos de tierra en taludes de carreteras de montaña. Se presenta el contexto y los antecedentes de estos eventos, así como una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre los factores que contribuyen a los deslizamientos de tierra en taludes.

En el capítulo 2 se detalla el diseño de la investigación y se describen los métodos y materiales utilizados. Se explica el proceso de selección de la zona de estudio y la recolección de datos relevantes. Se presentan los instrumentos y técnicas empleados para recopilar

información sobre los deslizamientos de tierra en taludes de carreteras de montaña. También se abordan los procedimientos de procesamiento y análisis de los datos recopilados.

En el capítulo 3 se establecen los objetivos de la investigación y se plantean las variables y medidas que serán utilizadas para evaluar los deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña. Se presenta el diseño metodológico utilizado para abordar la problemática. Se describe el plan de muestreo y selección de los casos de estudio, así como los procedimientos y protocolos de trabajo implementados.

En el capítulo 4 se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de los datos recopilados y procesados. Se muestran los hallazgos relevantes relacionados con los deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña. Se interpretan los resultados y se comparan con los estudios realizados sobre el tema.

Al final se presentarán las conclusiones y recomendaciones de resultados obtenidos de la investigación.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

##### *1.1.1. HISTORIA DE LAS CARRETERAS DE MONTAÑA*

Según los historiadores, los sumerios construyeron el primer sistema de carreteras conocido. Las excavaciones arqueológicas han confirmado la existencia de una gran vía en el imperio persa, descrita en textos de escritura cuneiforme. Esta carretera antigua se extendía desde Susa, la capital persa, hasta Boghas, el centro poblado más importante de la civilización hitita. Pasaba por ciudades como Nínive, Samosata, Ankara, Esmirna y Éfeso. La carretera seguía el terreno montañoso del oriente medio y se inclinaba en áreas donde la topografía no permitía caminos planos, aprovechando las depresiones para ascender y luego descender hacia áreas más llanas. (Bañón & Beviá García, 2000; Blanco, 1987)

En el sistema vial de la antigua China imperial, la construcción de carreteras dependía de la calidad del terreno, los materiales utilizados y la topografía. Los vestigios descubiertos indican que los caminos eran muy sinuosos en las montañas, estrechándose y bordeando precipicios. En la India, también se han encontrado restos de carreteras en llanuras y montañas en el centro y norte del subcontinente. Los historiadores indios describen detalladamente el camino real que iba desde las estribaciones del Himalaya hasta la ciudad de Prayag, atravesando acantilados y ríos. En Europa, hasta alrededor del año 1200 a.C., no hay evidencia de carreteras en el sentido amplio de la palabra. En su lugar, se utilizaron senderos naturales para transportar productos como ámbar y estaño desde el norte de la actual Alemania hasta el Mediterráneo, pasando por las montañas. Sin embargo, con la llegada del Imperio Romano, los ejes viales para el desplazamiento de los ejércitos fueron creciendo en número. Estos ejes se conectaron con los caminos ya existentes, formando una red vial que permitió a los emperadores expandir sus dominios. (Blanco, 1987)

Para 1624, en lo que hoy conocemos como territorio ecuatoriano, existió una red de caminos de herradura que unían a los pueblos del callejón interandino, desde Carchi a Loja con sus respectivos ramales transversales que unían a la costa con la sierra. Estas vías eran para uso

de bestias y peatones. En la época republicana, el presidente Gabriel García Moreno, planificó la carretera Quito-Babahoyo; obra ideada en 1863 y llevada a cabo en 1872. Esta vía unió a Quito con Latacunga, Riobamba, Ambato y terminaba en Simbambe. En su trayecto se levantaron 101 puentes y 132 acueductos que completaron 275.8 kilómetros de longitud. A esa red, en 1871, le siguió la que partiendo de Chuquipogio, atravesaba las inmediaciones del Chimborazo; pasaba por Guaranda, Chimbo, y llegaba hasta Babahoyo. Años después, en 1926, durante el gobierno de Isidro Ayora, se construyó por tramos y con mingas, la vía Rumichaca-Babahoyo. (*Historia Vial Del Ecuador*, n.d.)

Ya para 1947, durante la administración de José María Velasco Ibarra, comenzó a construirse la red vial Esmeraldas. Muisne-Tachina-La Tola. Un año más tarde, se contrataba la construcción de la vía Santo Domingo-Quinindé. Ese mismo año, el presidente Carlos Julio Arosemana Tola, respaldaba abrir una carretera hacia el oriente ecuatoriano. Los tramos fueron: Puyo-Napo-Paute-Méndez, Morona-Riobamba-Huamboya-Morona y San Miguel de Sucumbíos. Posteriormente se incluyeron las etapas: Latacunga-Salcedo-Napo; y la variante Loja-Zamora. Hasta que en 1964 se puso en ejecución el "Segundo Plan de Vialidad" que cubriría 1.048 kilómetros de nuevas vías. El "Tercer Plan de Vialidad" se concretó en la cuarta presidencia de Velasco Ibarra, que comenzó en 1969 y cuyos objetivos fueron terminar las obras de construcción del Segundo Plan Vial e incorporar 2.508 kilómetros de nuevas carreteras; entre ellas la vía Latacunga-Quevedo. (*Historia Vial Del Ecuador*, n.d.)

### **1.1.2. HISTORIA DE LOS DESLIZAMIENTOS**

Una roca sana es capaz de resistir todas las consecuencias generadas por los fenómenos hidrometeorológicos, pero un suelo arcilloso, un suelo limoso, un suelo arenoso, un depósito de gravas, una roca meteorizada, una roca alterada, una roca muy fracturada o una roca sedimentaria pobremente cementada, siempre serán susceptibles a la erosión, a la saturación y a los deslizamientos, ya que la presencia del agua tiende a deteriorar sus propiedades geomecánicas. (Capra et al., 2003) Importantes obras de ingeniería como presas, puentes carreteras taludes, edificaciones etc., requieren de un conocimiento pormenorizado de la susceptibilidad frente a los fenómenos hidrometeorológicos, porque solo así podrán incluirse en los diseños las medidas de protección que garanticen su durabilidad más allá de los frecuentes fenómenos naturales a los que estamos expuestos. (Osiris de Leon, 2005)

En los Andes del Ecuador, es común encontrar deslizamientos tanto naturales como antropogénicos, los cuales han ocasionado daños significativos y continuos. Aunque se han realizado pocos estudios en este país, se ha documentado la influencia de diversos fenómenos internos (termoplásticos) y factores ambientales externos, especialmente el clima, así como la pendiente, el tipo de suelo y los movimientos sísmicos. Estos deslizamientos a menudo están relacionados con actividades humanas, como la construcción de carreteras, que pueden contribuir a los movimientos de tierra y los deslizamientos. (Lozano & Bussmann, 2005)

Los deslizamientos de masas (suelos) y deslizamientos de rocas, como deslizamientos rotacionales, flujos de tierra, cárcavas de erosión, caída de bloques y socavamientos son causados por la inestabilidad de los suelos y rocas, activados por la erosión costera y las precipitaciones. Un estudio resalta la importancia de comprender la susceptibilidad de estas zonas a los deslizamientos debido a la alta erosión costera y sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para determinar la tasa de retroceso costero causado por los deslizamientos. (Moreno Alcivar, 2022)

## **1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES**

### ***1.2.1. TIPOS DE CARRETERAS***

James Cárdenas Grisales, en su libro: Diseño geométrico de carreteras, define a la carretera como: “(...) una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad”. Un concepto ya más elaborado es el que indica que una carretera está constituida por una faja de terreno construida artificialmente sobre el mismo. Está compuesta por un conjunto de alineaciones rectas unidas mediante curvas horizontales y de transición en el plano horizontal y por líneas de rasante unidas por curvas verticales cóncavas o convexas en el plano vertical. (Cárdenas Grisales, 2013)

Para los fines de esta investigación, el concepto de carretera puede ser simplificado como la vía de dominio y uso público que es indispensable para la sociedad y es construida para la circulación de vehículos automóviles. El uso de las carreteras determina su denominación; así tenemos que las autopistas son las que permiten la circulación de toda clase de vehículos y van

de un punto a otro sin interferencias ni se conectan a ninguna otra vía. Están totalmente señalizadas y no son interrumpidas por pasos de peatones u otros automotores. (Ángel et al., 2009; Macea-Mercado et al., 2016; Pucha Aguinsaca & Zárate Torres, 2020)

Las carreteras como las autovías sí tienen acceso a lugares circundantes; pero, no tienen pasos a desnivel ni permiten el cruce de tráfico, aunque poseen calzadas de ida y vuelta. Las carreteras de circunvalación, son las que rodean una zona, poblado o ciudad; se conecta con vías laterales y su principal objetivo es el de descongestionar el tránsito en las áreas céntricas y permite la movilización veloz de un punto a otro, rodeándolo, en vez de atravesar el casco urbano. Le siguen las carreteras provinciales; es decir que son las que conectan a diferentes zonas de una misma provincia y también, sirven para el tránsito de productos de un mercado a otro, para la circulación de pasajeros en el transporte público y el uso para la movilidad de la transportación privada. Las carreteras cantonales son aquellas que se circunscriben a los límites de una ciudad que es la cabecera cantonal y de sus parroquias, tanto urbanas como rurales. Estas vías son más anchas fuera de los perímetros de la capital del cantón y dentro de él son calles y avenidas. (Ministerio de transporte y obras públicas, 2016)

### ***1.2.2. CARRETERAS DE MONTAÑA***

La construcción de carreteras en zonas montañosas presenta diversas características en cuanto a la morfología del terreno. En el caso de algunas vías, éstas inician en una zona de premontañosa, que limita con la cuenca sedimentaria, para luego adentrarse en una zona de montaña con alturas considerables. A lo largo del trayecto, se atraviesan zonas con pastizales y bosques naturales. (Oñate et al., 2020)

Las carreteras de montaña son vías que se construyen en terrenos accidentados y elevados, y que suelen presentar retos y dificultades adicionales en comparación con las carreteras en terrenos llanos. A menudo, estas carreteras atraviesan áreas remotas y de difícil acceso, conectando a las poblaciones de las montañas con los centros urbanos y las regiones circundantes. Una de las principales características de las carreteras de montaña es la variabilidad de su morfología, que puede incluir desde zonas de premontaña hasta zonas de montaña con elevaciones que superan los 500 metros sobre el nivel del mar.

Estas carreteras representan un desafío importante para los conductores, especialmente para aquellos con menos experiencia detrás del volante. Aunque los conductores experimentados tienen habilidades que los novatos no tienen, como tiempos de reacción más cortos y mejores habilidades de percepción, la naturaleza desafiante de las carreteras de montaña puede hacer que incluso los conductores experimentados cometan errores. La percepción de peligros es una habilidad crucial para cualquier conductor, pero es especialmente importante en carreteras de montaña, donde las condiciones pueden cambiar rápidamente. La percepción de peligros implica la capacidad de anticipar situaciones peligrosas y tomar medidas para evitarlas. Los conductores novatos suelen mejorar esta habilidad con la práctica, pero incluso los conductores experimentados pueden beneficiarse de un entrenamiento adicional en esta área. (García Ramírez & Cuenca, 2021)

Por lo tanto, estas vías deben ser construidas con técnicas y materiales adecuados para soportar las condiciones climáticas y geológicas cambiantes de la zona. Además, las carreteras de montaña pueden enfrentar problemas específicos relacionados con la inestabilidad del terreno y la presencia de movimientos en masa, como deslizamientos y desprendimientos de rocas. (Salvatierra, 2019; Tomás et al., 2020) Es así que la evaluación de riesgos y la aplicación de técnicas de protección y estabilización de taludes son fundamentales en el diseño y mantenimiento de estas vías. Por otro lado, las carreteras de montaña también presentan una serie de ventajas, como la reducción de distancias y tiempos de viaje entre las poblaciones de montaña y las zonas urbanas, el fomento del turismo y el comercio local, y la mejora en la calidad de vida de las poblaciones aisladas.

### ***1.2.3. TALUDES***

Los trabajos de taludes se realizan para mantener las carreteras estables de los taludes de corte y relleno, los taludes naturales y para prevenir cualquier perturbación de tráfico. (del Japón, 1984) La estabilización de un talud básicamente se logra de dos formas: aumentando los parámetros de resistencia que contrarrestan el movimiento del terreno o reduciendo la fuerza motriz que tiende a desencadenar el movimiento mismo. El término talud se refiere a la pendiente que registra el paramento de una pared o de una superficie. Esto permite que el muro o paramento pueda resistir la presión que ejerce la tierra detrás de él o el equilibrio que éste por sí solo pueda mantenerse con su mismo material. (Salazar & Monge, 2007)

La vulnerabilidad de los taludes depende de varios factores, incluidas las propiedades del suelo y las condiciones geométricas del talud. En Costa Rica, la mayoría de los suelos residuales tienen ángulos de fricción inferiores a 35 grados, lo que indica una alta vulnerabilidad en condiciones drenadas. Es importante destacar que las fallas en los taludes ocurren cuando los materiales se secan o se saturan completamente, ya que en condiciones intermedias la succión aporta una resistencia adicional. Es por eso que es crucial evaluar adecuadamente la estabilidad de los taludes y tomar medidas para reducir la vulnerabilidad. (Ulloa Salazar & Vargas Monge, 2007)

#### *PARTES DE TALUDES*

Los taludes son las superficies inclinadas que conforman los bordes de las carreteras en las montañas y están compuestos por varias partes. La coronación del talud es la parte superior del mismo, donde se encuentra la cuneta, que es la zona de recolección de agua lluvia que cae sobre el talud. La base del talud es la parte inferior del mismo, donde se encuentra la zona de transición entre el talud y el terreno natural. La superficie del talud se encuentra entre la coronación y la base y puede ser más o menos inclinada dependiendo de la topografía del terreno y de la estabilidad del suelo. Los taludes pueden presentar diferentes tipos de materiales, como rocas, tierra, arena o una combinación de estos materiales, y pueden requerir diferentes técnicas de protección y estabilización para evitar deslizamientos y desprendimientos que puedan afectar la seguridad de la carretera y sus usuarios. Es importante realizar un adecuado análisis y diseño de los taludes en las carreteras de montaña para garantizar su estabilidad y minimizar los riesgos de accidentes viales. (Li et al., 2011)

Un talud se refiere a una pendiente o inclinación natural o artificial de la superficie terrestre que puede ser susceptible a fallas o deslizamientos, los cuales pueden ser peligrosos para las personas y las estructuras que se encuentran cercanas. Para el estudio de los taludes, se pueden clasificar en dos tipos: naturales y artificiales. Los taludes naturales son aquellas laderas que se forman de manera natural debido a fenómenos geológicos, sin la intervención humana. Aunque estas laderas pueden haber permanecido estables durante varios años, pueden fallar debido a diferentes factores, tales como cambios topográficos, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización, y factores naturales o antrópicos que modifiquen su estado natural de estabilidad. Por otro lado, los taludes artificiales son construidos

por el hombre y son necesarios para la construcción de carreteras, represas, ferrocarriles, y otras obras civiles. Estos taludes son construidos en la parte lateral de una vía con el propósito de estabilizar una masa volumétrica de suelo y evitar que los fenómenos externos afecten su forma inicial y previamente calculada en su análisis. Si los taludes artificiales no son construidos de manera adecuada, pueden producir deslizamientos o fallas que afecten la seguridad de las personas y generen demanda económica imprevista. (Álvarez et al., 2020)

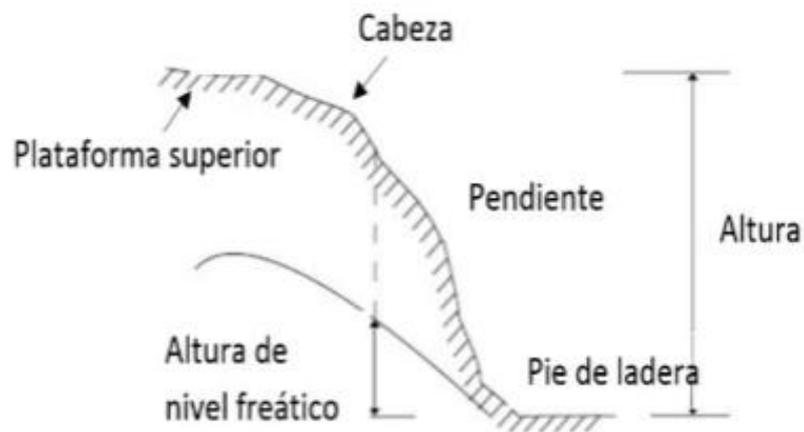


Ilustración 1 Talud natural

Fuente: Métodos de estabilización de taludes (Álvarez et al., 2020)

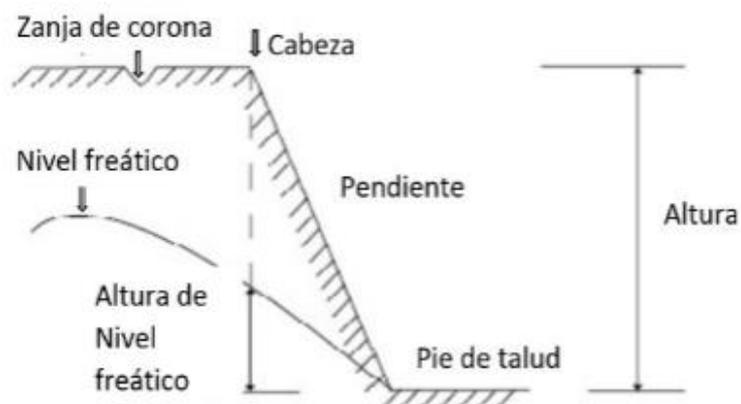


Ilustración 2 Talud artificial

Fuente: Métodos de estabilización de taludes (Álvarez et al., 2020)

### *PENDIENTES DE TALUDES*

Los taludes de corte tienden a ser inestables después de terminados los trabajos de corte. Por lo tanto, los cálculos de estabilidad son significativos sólo en casos raros cuando se analiza la estabilidad de taludes de corte. La inclinación de los taludes depende de los suelos y la litología. (Alejo et al., 2022) Cuando la inclinación cambia, en muchos casos se proporciona una banqueta en el punto de cambio de la inclinación. Generalmente se emplea una pendiente única cuando la geología y los suelos son los mismos en profundidad y en las direcciones transversal y longitudinal. Cuando la geología y los suelos varían considerablemente y de manera complicada, una pendiente única adecuada al suelo de mayor pendiente podría usarse, aunque resulte antieconómico. (del Japón, 1984)

La presencia de taludes sin protección vegetal ha ocasionado la destrucción de estas estructuras por la erosión. Los taludes son las pendientes o declives en el terreno que se presentan en las laderas de montañas o colinas, por lo que su protección es fundamental en la agricultura en zonas con pendientes elevadas. Se menciona la importancia del control biológico de la erosión por medio de cubiertas vegetales para la regulación de la producción de sedimentos y escorrentía. La protección de bancales y la aplicación de cubiertas vegetales con un posible aprovechamiento con fines medicinales, melífero y aromático, y el empleo de la superficie de suelo de los taludes con fines agrícolas, son evaluados en el estudio presentado. (Martínez Raya et al., 2002)

El análisis de la pendiente del talud es importante para obtener una variación constructiva, sin afectar la estabilidad y seguridad. Además de agregar otros estudios, este análisis permite obtener valores de factor de seguridad y determinar que se podía incrementar la pendiente del talud, lo que es importante para mejorar la eficiencia de la estructura y reducir el riesgo de fallas en el futuro. Asimismo, la pendiente del talud puede prevenir deslizamientos, uno de los principales problemas que ocurren y que pueden provocar graves daños e incluso pérdidas humanas. (Berenguer et al., 2019)

#### ***1.2.4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES***

El análisis de la estabilidad de los taludes es un proceso importante en la ingeniería geotécnica que se utiliza para determinar si un talud o una ladera es estable o si existe el riesgo

de que falle debido a la inestabilidad del suelo. El análisis de la estabilidad de los taludes implica la evaluación de una serie de factores que pueden afectar la estabilidad de un talud, como la geología y la hidrología del área, la pendiente y la geometría del talud, el tipo y las propiedades del suelo y la presencia de cargas y fuerzas externas. El objetivo del análisis de la estabilidad de los taludes es determinar si el talud es seguro para su uso previsto o si se requieren medidas de estabilización para prevenir fallas y deslizamientos que puedan causar daños o pérdidas. Es importante tener en cuenta que los taludes pueden ser inestables en cualquier momento debido a cambios en las condiciones ambientales, como la lluvia intensa o los terremotos, por lo que es importante realizar un seguimiento continuo de la estabilidad de los taludes. (Grattz et al., 2018)

Para el desarrollo de un proyecto vial es importante el análisis del talud, especialmente en carreteras de montaña, debido a que de esto depende la seguridad que se le da al usuario de la vía. Para estabilizar un talud hay que entender las causas de la inestabilidad del mismo, las causas más comunes son: el talud muy inclinado por corte o relleno, el exceso de la presión de poros causado por niveles freáticos, o interrupción de la trayectoria de drenaje, socavación debido a la erosión de agua superficial y pérdida de resistencia con el tiempo debido a procesos de reptación e intemperismo. (Alejo et al., 2022; Tomás et al., 2020) Además de un estudio geológico geotécnico detallado y una campaña de exploración del subsuelo, son necesarios para determinar las causas del deslizamiento y planificar las medidas correctivas. Se desestabiliza un talud y/o ocurre un deslizamiento cuando los esfuerzos de corte en una superficie que delimita un bloque de suelo, exceden la resistencia al corte del material del que está conformado dicho talud.

La información obtenida del capítulo de Geotecnia y Cimentaciones de las Normas Ecuatorianas de Construcción (NEC) proporciona pautas importantes para los análisis de estabilidad de laderas naturales o intervenidas y taludes de excavación. Estas pautas incluyen considerar varios aspectos clave:

**Geometría del terreno:** Se debe tener en cuenta la forma y configuración del terreno tanto antes como después de cualquier intervención constructiva. Esto implica analizar los cambios en la topografía y la distribución de masas de suelo. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

Características geomecánicas del subsuelo: Es necesario conocer las propiedades geotécnicas de los materiales que conforman el talud, como su resistencia, compacidad, cohesión, ángulo de fricción interna, entre otros. Estos datos son fundamentales para evaluar la estabilidad del talud. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

Condiciones hidrogeológicas e hidráulicas: Se deben considerar los aspectos relacionados con el flujo y la presencia de agua en el terreno, ya que puede tener un impacto significativo en la estabilidad del talud. Esto implica evaluar la permeabilidad del suelo, las características de los acuíferos y la presencia de agua subterránea. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

Sobrecargas de las obras vecinas: Es importante tener en cuenta las cargas adicionales que pueden generarse debido a la presencia de estructuras cercanas al talud, como edificios, carreteras u otras infraestructuras. Estas cargas pueden influir en la estabilidad del talud y deben ser consideradas en el análisis. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

Sistemas y procesos constructivos: Se deben evaluar los métodos y técnicas de construcción que se utilizarán en el talud, ya que pueden afectar su estabilidad. Esto implica considerar la secuencia de construcción, los equipos utilizados y los posibles efectos de las excavaciones o rellenos. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

Movimientos sísmicos: Los eventos sísmicos pueden desencadenar deslizamientos de taludes, por lo que es importante considerar la actividad sísmica de la región y evaluar el impacto de los movimientos sísmicos en la estabilidad del talud. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2008)

### ***1.2.5.MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES***

A lo largo de la investigación de diferentes artículos relacionados con la estabilidad de taludes, se ha podido constatar que existe una gran variedad de estudios sobre este tema. Desde análisis realizados por métodos numéricos hasta metodologías de evaluación, se han abarcado diversas formas de abordar la problemática de la estabilidad de taludes. En algunos artículos se ha optado por utilizar modelos matemáticos basados en el método de elementos finitos o en el método de equilibrio límite, mientras que otros han preferido evaluar la estabilidad de taludes

mediante la observación de la deformación del terreno, la inestabilidad de la vegetación o la aparición de grietas y fisuras en la superficie del talud.

Algunos métodos utilizados para realizar el análisis de la estabilidad de los taludes varían en función de las características específicas del talud y del entorno en el que se encuentra. Algunos de los métodos comunes incluyen la teoría de la falla de Mohr-Coulomb, el método de equilibrio límite y el análisis por elementos finitos. (Grattz et al., 2018)

Los enfoques en el modelado de amenazas de deslizamientos de tierra han sido clasificados por muchos investigadores como cualitativa o cuantitativa donde los cualitativos se basan en el análisis geomorfológico, evaluaciones basadas en conocimiento experto y derivado de la comprensión teórica de procesos físicos y experiencia profesional. Por otra parte, la cuantitativa se basa en datos que usan ecuaciones derivadas matemáticamente y generalmente dependen de la precisión de los datos de entrada. (Dolojan et al., 2021) Este tipo de modelado puede guiar el análisis de amenazas hacia una estimación cuantitativa útil del potencial de deslizamientos de tierra cuando una combinación similar de factores desencadenantes generará el mismo tipo de proceso que en el caso de deslizamientos de tierra históricos. (DOBRESCU et al., 2018)

Existen análisis donde se evalúa la peligrosidad, vulnerabilidad, estabilidad, entre otros, los cuales tienen gran relación entre sí. Como ejemplo la evaluación del peligro de deslizamientos el cual estima de la probabilidad de que un área se vea afectada por un deslizamiento de tierra de determinada intensidad durante un período de tiempo establecido. Se basa en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra (es decir, la probabilidad de que ocurra un tipo determinado de deslizamiento de tierra en un área determinada) y la intensidad. La definición de intensidad depende del mecanismo de propagación, pero generalmente incluye el descentramiento (o distancia de viaje), la velocidad y el volumen del deslizamiento. (Peruzzetto et al., 2020)

#### ***1.2.6. DRENAJES DE TALUDES***

Los sistemas de drenaje son fundamentales en la estabilización de taludes debido a que afecta la permeabilidad y el grado de saturación del suelo, lo que a su vez tiene un impacto significativo en la estabilidad de los taludes. Los taludes deben contar con un drenaje adecuado,

ya que la insuficiencia métodos de drenaje provoca la acumulación de agua que puede generar presiones hidrostáticas y, como resultado, provocar deslizamientos. (Berenguer et al., 2019; Mucuta-Lito et al., 2020) Existen diferentes tipos de sistemas de drenaje que pueden ser utilizados en taludes. Uno de los más comunes son los drenes superficiales, que se encargan de evacuar el agua de la superficie del terreno. Estos drenes pueden ser contruidos con materiales como piedra, concreto o plástico, y se ubican en la parte superior del talud.

En Cuba, por ejemplo, para controlar la filtración en las presas y disminuir el volumen de material saturado, se utiliza el drenaje de taludes. Los requisitos que debe tener un drenaje son capacidad suficiente para evacuar el agua y no permitir el sifonamiento y se deben considerar las variantes de comparación de origen técnico-económico y existen diferentes sistemas de drenaje a ser ubicados en el interior del terraplén. (Viviana et al., 2021)

Otro tipo de drenaje son los drenes subterráneos, que se utilizan para evacuar el agua del interior del talud. Estos drenes se construyen a diferentes profundidades y suelen estar hechos de materiales porosos que permiten la infiltración del agua. Los drenes subterráneos pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de la necesidad del talud. Es importante tener en cuenta la oclusión de drenajes porque puede disminuir el factor de seguridad de los taludes en la presa. Esto implica que los taludes aguas abajo pueden fallar o deslizarse. (Viviana et al., 2021)

También existen los drenes de chimenea, que son una combinación de drenes superficiales y subterráneos. Estos drenes se construyen con tubos verticales que atraviesan el talud y se conectan a un drenaje horizontal en la parte inferior del talud. De esta manera, se permite la evacuación del agua tanto de la superficie como del interior del talud. Es importante mencionar que la selección del tipo de drenaje a utilizar dependerá de las características específicas de cada talud y las condiciones climáticas y geológicas de la zona. Además, se debe realizar un mantenimiento periódico para asegurar que los sistemas de drenaje estén funcionando correctamente y prevenir posibles fallas.

La posición de la superficie freática juega un papel fundamental como factor desencadenante de muchos deslizamientos de taludes por lo que se tiende cada vez más a incorporar sistemas de drenaje que permiten ejercer un control más directo sobre el agua freática. Las fallas en los taludes son graduales, la resistencia al corte cambia a lo largo del tiempo, a medida que el porcentaje de humedad cambia. Si la humedad natural es igual o mayor

al límite líquido quiere decir que está fallando en el punto. Por lo tanto, la humedad es un parámetro de control de la falla. Los ensayos de suelos como: triaxial, corte directo, ensayos de campo, dilatómetro de Marchetti, veleta, cono de penetración estático nos sirven para caracterizar el talud y darnos los parámetros de cohesión y fricción. Otro parámetro importante es el peso del suelo, la caracterización del peso del suelo es el peso específico o densidad del suelo.(Berenguer et al., 2019)

### **1.2.7.DESLIZAMIENTOS**

Los deslizamientos de tierra son eventos desencadenados por diversos factores. Entre los factores comunes que pueden desencadenarlos se encuentran la lluvia, erosión y excavación en la base del talud, la erosión subterránea causada por tuberías, la carga excesiva en la parte superior del talud debido a la deposición o sedimentación, la disminución rápida de la resistencia del suelo debido a factores como depósitos artificiales o suelo saturado, mareas altas o la ruptura de presas naturales.(Palacio Cordoba et al., 2020; Turner, 2018) Otros desencadenantes incluyen los terremotos, deforestación, erupciones volcánicas, modificaciones en la geometría de los taludes, cargas por obras humanas y la caída de material como rocas y escombros. Estos factores pueden interactuar y contribuir a la inestabilidad de los taludes, resultando en deslizamientos de tierra.(García et al., 2021)

Existen diversos tipos de movimientos en masa que pueden ocurrir en los taludes o deslizamientos de tierra. Estos incluyen:

**Caídas:** Este tipo de movimiento se refiere a la caída de rocas, detritos o suelo desde un talud. Puede ocurrir cuando la resistencia del material es superada y se produce un colapso vertical. Un movimiento de pendiente en el cual la masa en movimiento recorre la mayor parte de la distancia a través del aire, e incluye el movimiento de caída libre a saltos y saltos y el balanceo de fragmentos de material. Una caída comienza con el desprendimiento de material de una empinada pendiente a lo largo de una superficie en el que tiene lugar poco o ningún desplazamiento por cortante. (van Asch et al., 2007)

**Volcamiento:** Se refiere al vuelco de rocas o bloques de forma masiva. Puede ser un volcamiento de roca, donde un bloque rocoso se desplaza y vuelca sobre sí mismo, o un volcamiento flexura de roca o del macizo rocoso, donde se produce un desplazamiento y vuelco

de una masa rocosa más grande. Un movimiento de pendiente que ocurre debido a fuerzas que causan un momento de volteo alrededor de un punto de pivote por debajo del centro de gravedad de la pendiente. Un vuelco es muy similar a una caída en muchos aspectos, pero no implica una separación completa en la base de la falla. (van Asch et al., 2007)

Deslizamiento: Este tipo de movimiento implica el deslizamiento de rocas o suelos a lo largo de una superficie de deslizamiento. Pueden ocurrir deslizamientos traslacionales, donde el material se mueve en una dirección horizontal, deslizamientos en cuña, donde se forma una cuña de material que se desplaza hacia abajo, y deslizamientos rotacionales, donde el material se desplaza en forma de arco. Un movimiento de pendiente por el cual el material se desplaza más o menos coherentemente a lo largo de una superficie o zona de corte reconocible o menos definida. (van Asch et al., 2007)

Propagación lateral: Se refiere a la propagación lateral de un deslizamiento. Puede ser una propagación lateral lenta, que implica un movimiento gradual y progresivo, o una propagación lateral por licuación, que es un movimiento rápido causado por la transformación de suelos en un estado líquido debido a la saturación de agua. Un movimiento de pendiente caracterizado por la extensión lateral de una masa cohesiva sobre una masa deformada de material subyacente más blando en el que la superficie de corte basal de control muchas veces no está bien definida. (van Asch et al., 2007)

Flujo: Este tipo de movimiento implica el desplazamiento de material en forma de flujo. Puede ser un flujo de detritos, crecida de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, flujo de turba, avalancha de detritos o avalancha de rocas. También puede ocurrir un deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación, donde materiales como arena, limo, detritos o roca fracturada se comportan como un fluido. Un movimiento de pendiente caracterizado por movimientos diferenciales internos que se distribuyen a lo largo de la masa y en el que las partículas individuales viajan por separado dentro de la masa. (van Asch et al., 2007)

Reptación: Se refiere al movimiento lento y gradual de suelos, donde se produce un desplazamiento por deformación del material. Existen varios métodos utilizados para evaluar y analizar la estabilidad de taludes. Estos métodos proporcionan enfoques diferentes para abordar el problema y evaluar el riesgo de deslizamientos. Ayudan en la toma de decisiones relacionadas con la mitigación y la seguridad en proyectos de ingeniería geotécnica. Cada método tiene sus

propias ventajas y limitaciones, por lo que es importante seleccionar el enfoque más adecuado para cada situación específica.

Soliflucción y geliflucción: Estos movimientos ocurren en áreas con permafrost, donde el suelo se desplaza debido a la acción del hielo y el agua.

### ***1.2.8.MÉTODOS DE PROTECCIÓN DE TALUDES***

Las estrategias para reducir las pérdidas económicas y las muertes por deslizamientos representan prioridades globales para los tomadores de decisiones y la investigación científica.(García et al., 2021) Existen diferentes métodos utilizados para la protección de taludes. Algunos de ellos incluyen:

Bermas: Se trata de construir terrazas escalonadas en el talud para reducir la pendiente y prevenir deslizamientos.

Terramesh: Consiste en la colocación de una malla metálica sobre el talud, rellenándola con material para crear una superficie estabilizada.

Hormigón Lanzado: Se aplica una capa de hormigón proyectado sobre el talud para proporcionar estabilidad y resistencia.

Columnas de grava: Se utilizan en terrenos licuables para mejorar la capacidad de carga del suelo y evitar el deslizamiento.

Además, es importante considerar la influencia del agua en la estabilidad de los taludes. El agua puede disminuir el esfuerzo efectivo del suelo, reduciendo su resistencia y aumentando la carga adicional. Por lo tanto, es necesario diseñar sistemas de drenaje, subdrenajes y zanjas para controlar el flujo de agua y evitar su acumulación en el talud.

Los trabajos de protección de talud se realizan con el objetivo de prevenir la erosión y el deterioro causados por el clima y el paso del tiempo. Estos trabajos pueden implicar la implementación de vegetación en el talud o la construcción de estructuras de contención. Además, se llevan a cabo medidas de estabilización, como la instalación de drenajes o estructuras de retención, para asegurar la integridad del talud y protegerlo de posibles deslizamientos o colapsos. (del Japón, 1984)

### ***1.2.9. CONTROL DE MOVIMIENTOS Y AUSCULTACIÓN***

El control de movimientos de tierra es esencial en taludes para garantizar la seguridad y estabilidad de la carretera o estructura ubicada en la parte inferior del talud. Una forma común de controlar los movimientos de tierra es mediante la construcción de estructuras de contención, como muros de contención o anclajes. Estas estructuras pueden ser diseñadas para resistir los empujes laterales del suelo y el agua, y para mantener la estabilidad del talud.

Otro método importante para el control de movimientos de tierra es la auscultación de taludes. La auscultación es un conjunto de técnicas utilizadas para evaluar y monitorear la estabilidad de los taludes y detectar cualquier movimiento inesperado. La auscultación puede incluir la medición de la inclinación del talud, la presión de agua en el suelo, la deformación del suelo, la velocidad de los movimientos y la presencia de grietas.

En la auscultación de taludes se utilizan diversas técnicas y herramientas, con la finalidad de hacer un seguimiento de la evolución del movimiento y entender sus causas, estas herramientas como inclinómetros, extensómetros, piezómetros, medidores de deformación, monitores de movimiento y cámaras de video proporcionan detalles sobre la inestabilidad y la ubicación de la superficie de deslizamiento. (Mariano et al., 2022) Estas técnicas permiten realizar mediciones precisas y continuas para detectar cualquier cambio en la estabilidad del talud y tomar las medidas necesarias para prevenir deslizamientos.

### **1.3. ANTECEDENTES CONTEXTUALES**

Dentro de Ecuador, se regenta la construcción de las obras viales como sus especificidades, diseño entre otros con su ente normativo de dichas directrices a cargo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. La ciudad minera de Zaruma se encuentra en el suroeste de Ecuador, en la parte alta de la provincia de El Oro. Zaruma tiene una fuerte tradición minera y fue declarada patrimonio cultural del Estado ecuatoriano en 1999. Zaruma se destaca por su riqueza cultural y geológica, y es un ícono de los inicios de la actividad minera en Ecuador. Actualmente, la zona presenta un alto riesgo geológico debido a que ha sufrido subsidencia desde 2016 debido a la actividad minera subterránea ilegal. (Carrión-Mero et al., 2020)

La carretera garantiza la transpirabilidad, las condiciones de servicio y seguridad de los usuarios de la vía. La vía E-585 Buenavista Pacha Zaruma, conecta la parte baja y alta de la provincia de El Oro, es utilizada por los usuarios que tienen en las zonas de actividades productiva como ganadería, producción de lácteos, cultivos de ciclo corto, producción minera, además de ser una zona turística donde se encuentran como Patrimonio Nacional las ruinas de Yacuvíña. En la estación invernal del 2020 y 2021 se producen eventos considerados por la secretaria nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, como extraordinarios debido a las fuertes.

### ***1.3.1. DESLIZAMIENTOS EN LA REGIÓN ANDINA***

En Ecuador, como en otros países en vías de desarrollo, el limitado presupuesto para las obras viales, junto con la falta de técnicos capacitados, hace que las instituciones solo se encarguen, principalmente, del mantenimiento de las vías (prevención, intervenciones en sitios de concentración de siniestros, etc.) pero no de la seguridad vial de las mismas. A pesar de realizarse inspecciones viales, estas tienen una aplicación limitada debido a esa falta de personal calificado. (García-Ramírez et al., 2021)

Los movimientos de masa en la región andina dependen de las condiciones geomorfológicas, geológicas y climáticas, y que los deslizamientos representan un riesgo geológico. La prevención es la mejor estrategia para reducir los impactos, y esto implica la percepción, identificación, caracterización cartográfica y evaluación de los riesgos en zonas montañosas. (García et al., 2021)

### ***1.3.2. SITUACIÓN DE CARRETERAS EN EL ECUADOR***

Las carreteras en Ecuador son consideradas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador (MTOPE) eficientes, seguras y sostenibles. Sin embargo, se reconoce la necesidad de mejoras en la infraestructura vial del país. En particular, se menciona que el estudio de los sistemas viales ha sido habitualmente olvidado en las investigaciones urbano-regionales, por lo que se considera esclarecedor y necesario el trabajo que describe la situación de las redes viales de todo el país. Se destaca que existen doce redes viales estatales primarias arteriales en todo el país, las cuales se nutren del tráfico recolectado desde las redes viales estatales secundarias. Además, se menciona que dentro de la ciudad de Cuenca hay evidencia de mal

estado en el 70% de la red vial provincial terciaria y en el 75% de la red vial provincial vecinal. En este sentido, es importante considerar que las carreteras son el medio de enlace a los asentamientos poblacionales y son utilizadas para el traslado de personas y mercancías, por lo que su trascendencia socioeconómica es innegable. (Crespo-Fajardo, 2019)

La carretera E-585 Buenavista Paccha Zaruma de 80 Km, con características de terreno ondulado- montañoso, en la actualidad presenta deterioros en la calzada con sitios críticos u necesitan la intervención urgente, ante la posibilidad de ocurrencia de fenómeno del Niño y de la cantidad de vehículos que transitan por esta vía por ser eje principal de unión entre los cantones de Zaruma, Atahualpa, y Pasaje, este tramo durante la última estación invernal ha sido afectada por precipitaciones con volúmenes mayores a lo normal, donde se han producido derrumbes de grande volúmenes, deslizamientos de taludes inferiores, pérdida de taludes superiores, pérdida de la estructura de la carretera, hundimientos y asentamientos donde se observan fisuras de borde de la calzada, daños en el sistema de drenaje y activación de las fallas geológicas.

### ***1.3.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS***

En Ecuador, las condiciones meteorológicas pueden ser un factor determinante en la estabilidad de los taludes. La temporada de lluvias, que va de octubre a mayo, puede generar un aumento en la saturación del suelo, lo que aumenta el peso y la presión sobre los taludes, lo que a su vez puede causar deslizamientos de tierra. Las lluvias intensas y prolongadas pueden aumentar el riesgo de deslizamientos en las laderas y van desde los 500 a 1500 mm/año (Instituto Nacional de Patrimonio cultural, 2013; Quevedo Guerreño et al., 2020)

La provincia de El Oro presenta una geografía diversa con montañas en el sur y sureste, incluyendo la cordillera de Tahuín y Chilla. El clima de la provincia se caracteriza por la variación en la cantidad de lluvia, con una costa seca y una montaña lluviosa. En ambos casos, las temperaturas son tropicales. La superficie total de la provincia es de 5,580 km<sup>2</sup>. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP, n.d.)

Además, la actividad sísmica también puede ser un factor importante en la estabilidad de los taludes en Ecuador, ya que el país se encuentra en una zona de alta actividad sísmica. Los terremotos pueden generar vibraciones y movimientos en el suelo que pueden afectar la

estabilidad de los taludes, especialmente si ya presentan debilidades o problemas de estabilidad. Es importante realizar un monitoreo constante de las condiciones meteorológicas y sísmicas en las zonas donde se ubican los taludes para poder prevenir y mitigar los riesgos de deslizamientos. Las técnicas de auscultación y monitoreo, como los sensores de deformación y los medidores de humedad, pueden ser útiles para detectar cambios en la estabilidad de los taludes y tomar medidas preventivas antes de que se produzcan deslizamientos.

#### ***1.3.4. TOPOGRAFÍA GEOLOGÍA***

Las alturas entre los cantones de Pasaje y Zaruma van desde los 5 y 3000 msnm respectivamente con temperaturas entre los 12 y 16°C. En cuanto a los suelos, se encuentran en los órdenes de Entisoles y Inceptisoles, y la humedad relativa es del 84%. (Instituto Nacional de Patrimonio cultural, 2013; Quevedo Guerreiro et al., 2020)

Ante la magnitud de las afectaciones en el tramo Buenavista-Paccha-Zaruma presentadas durante las estaciones invernales y las características del terreno montañoso, han ocasionado la activación de fallas geológicas en diferentes puntos de la vía, las intensas lluvias provocan presencia de agua superficial y la infiltración la talud, lo que ha provocado varios deslizamientos de taludes y hundimientos de calzadas en algunos puntos críticos, en los mismos se debe ejecutar estudios que permitan proponer soluciones definitivas.

#### ***1.3.5. VEGETACIÓN ENDÉMICA***

La inestabilidad del terreno en las áreas urbanas y suburbanas de Zaruma y Portovelo ocasiona daños y pérdidas económicas y sociales, y produce impactos negativos al medio ambiente. Fenómenos perturbadores como deslizamientos, hundimientos y subsidencias, han experimentado un incremento en los últimos años y continuarán su tendencia al alza si no se reduce el riesgo generado por amenazas y vulnerabilidades relacionadas con los factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidad descritos en este documento.

Debido a su ubicación en zonas montañosas y pre-montañosas, la provincia de El Oro alberga una variedad de vegetación endémica se pueden encontrar especies como el Amarillo, Pretino, Tillo, Colorado, Cedro Colorado, Jagua, Figueroa, Balsa Blanca, Fernán Sánchez, Guácimo, Jobo y Sepán. En la sierra, en las áreas montañosas, se encuentran especies como el

Algarrobo, Faique, Molle, Cholán, Vainillo, Jacaranda, Chinchin, Malva, Mosquero, Chamana y Caña Brava. Gran parte de los suelos de estas formaciones no son completamente utilizables debido a su ubicación en áreas montañosas, y la vegetación está compuesta principalmente por gramíneas, matorrales, arbustos y árboles dispersos. Además de la vegetación natural, en algunas áreas de la provincia se pueden encontrar cultivos como trigo, morocho, maíz, papas, así como actividades ganaderas lecheras, que son características de ciertos sectores. (Instituto Nacional de Patrimonio cultural, 2013)

Es evidente la necesidad de medidas estructurales y no estructurales para evitar o reducir los impactos negativos de los movimientos de masas de suelo y rocas inestables. Las primeras, encaminadas a la intervención física de la amenaza dada por la inestabilidad del terreno y las causas que la generan, así como de la vulnerabilidad de los elementos expuestos mediante obras de ingeniería para proteger las estructuras e infraestructuras, la población y sus bienes; y las medidas no estructurales, dirigidas al ordenamiento y control de la minería, el fortalecimiento institucional, la educación y la preparación de la comunidad.

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1. TIPO DE ESTUDIO**

Se realiza un estudio descriptivo para comprender mejor la zona de estudio y las características de los taludes y las condiciones geológicas y climáticas en la región. Este tipo de estudio permitiría identificar los factores de riesgo y las posibles causas de los movimientos de tierra en la zona.

Estudios analíticos: Son útiles para analizar y comparar diferentes grupos, así como las alternativas de estabilización de taludes y evaluar su efectividad en términos de costo, durabilidad y beneficios a largo plazo. (Manterola et al., 2019)

Estudios descriptivos: Son útiles para describir y caracterizar las variables en los taludes y los factores que influyen en su estabilidad. En este caso, se podría describir la topografía, geología, clima, vegetación y otras características relevantes de la zona de estudio. (Manterola et al., 2019)

Estudios exploratorios: Se utiliza para explorar y establecer las bases teóricas y metodológicas de la investigación, así como para identificar posibles variables y factores relevantes para el análisis de los movimientos de tierra en los taludes de carreteras de montaña en Ecuador.

#### **2.2. ENFOQUE**

Basados en la información recolectada esta investigación tiene enfoque cuantitativo-cualitativo. Ya que por una parte se centra en la cuantificación de los parámetros y características de los suelos para determinar calificaciones en función del peligro que corren ante deslizamientos, así como características físicas que deben ser evaluadas de manera cualitativa como la presencia de factores que aumenten el riesgo de deslizamientos (Lisboa, 2016)

## **2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

Basados en los datos de la carretera E-585 Buenavista-Paccha-Zaruma de 80.00 Km, es una vía que pertenece a la red Vial Estatal, une la parte baja de la provincia de El Oro, es una vía de segundo orden que en su mayoría es terreno montañoso, llegando aproximadamente a los 2200 msnm. El cual conecta a una población de aproximadamente 29930 habitantes según datos tomados del INEC. Se seleccionará una muestra representativa para esta investigación, considerando la sección que mejor refleje las características y condiciones de la zona de estudio. Esta sección ha sido identificada y detallada en el Anexo 2, el cual proporciona información adicional sobre la ubicación y las características específicas de dicha sección.

La sección seleccionada en base a su representatividad permitirá obtener una visión integral de los factores que contribuyen a los deslizamientos de taludes y, en consecuencia, desarrollar un modelo de protección adaptado a las condiciones específicas de la zona de estudio. Esto incluirá la identificación de los factores de riesgo, la evaluación de las medidas de protección existentes y la propuesta de recomendaciones adecuadas para mejorar la seguridad vial en las carreteras de montaña de la provincia de El Oro.

## **2.4. MÉTODOS**

### ***2.4.1. Método teórico***

Análisis bibliográfico: revisión de literatura científica y técnica relacionada con el tema de estudio para recopilar información teórica y conceptual relevante. Este método se utilizó para realizar la investigación con la información secundaria, o información documental.

Análisis estadístico: aplicación de técnicas estadísticas para procesar y analizar los datos recopilados en la investigación y determinar relaciones y patrones relevantes.

### ***2.4.2. Método empírico***

Observación directa: registro y documentación de las características y comportamiento de los taludes mediante la observación directa en campo. de campo para determinar el tipo de deslizamientos en el caso estudio.

Experimentación: realización de experimentos y pruebas en campo o en laboratorio para evaluar el comportamiento y la estabilidad de los taludes.

Encuestas y entrevistas: aplicación de técnicas de recolección de datos para obtener información de los actores clave relacionados con el tema de estudio, como ingenieros, autoridades viales, usuarios de las carreteras, entre otros.

## 2.5. OPERACIÓN DE VARIABLE

### 2.5.1. Variable Dependiente

Tabla 2-1 Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE: PROTECCIÓN DE TALUDES							
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS	INFORMANTES
<b>ES UN PROCEDIMIENTO QUE SE REALIZA PARA PROTEGER LOS TALUDES CON EL PROPÓSITO DE ESTABLECER PAUTAS PARA ESTABILIZAR Y ASEGURAR LA PROTECCIÓN DEL TRÁNSITO EN LA CARRETERA.</b>	Procedimiento	Investigación preliminar	Alto medio Bajo	¿Cuál es el grado de riesgo de deslizamiento?	Observación	Lista de cotejo	Investigador
		Análisis	Factores Naturales Factores Humanos	¿Qué factores determinan la estabilidad y seguridad de taludes?	Análisis Documental	Ficha bibliográfica	Investigador
		Alternativas	sistema de protección	¿Qué alternativas del sistema de protección de taludes?	Análisis Documental Encuesta	Ficha bibliográfica Cuestionario de entrevista	Investigador Expertos.
	Criterios de selección	Factor de seguridad	Geotécnicos Sísmicos	¿Qué criterios de selección de protección de taludes?	Análisis Documental Experimental	Ficha bibliográfica Formulario de laboratorio	Investigador Expertos.
	Trabajo de protección	Técnicas para taludes	Nro. técnicas	¿Cuáles son los tipos de protección de taludes?	Análisis Documental	Ficha bibliográfica	Investigador
	Protección de tránsito	Señalética preventiva	SI - NO	¿Cuenta con señalética preventiva?	Observación	Lista de cotejo	Investigador

Fuente: Elaboración propia

## 2.5.2. Variable Independiente

Tabla 2-2 Variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE: CARRETERAS DE MONTAÑA							
CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS	INFORMANTES
SON AQUELLAS VÍAS QUE TOMAN SU NOMBRE POR SU CLASIFICACIÓN DE ACUERDO TOPOGRAFÍA DEL TERRENO Y RESPONDEN A CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y DE TIPO ESTRUCTURAL VIAL ESTABLECIDAS EN LAS NORMAS GENERALES DEL MTOP	Clasificación	Topografía del terreno	Llano Ondulado Montañoso	¿Cómo se clasifica la carretera Pasaje -Paccha?	Análisis Documental	fecha bibliográfica	Investigador MTOP
	Diseño geométrico	TPDA	Clase IV - III - II	¿Qué clase de carretera según el TPDA?	Análisis Documental	fecha bibliográfica	Investigador MTOP
	Estructura vial	Sección transversal	Flexible Rígido	¿Cuál es tipo de estructura vial?	Observación	lista de cotejo	Investigador
	Norma Generales del MTOP	Clasificación por diseño Medidas de seguridad Señalización horizontal y vertical Señalización preventiva.	SI - NO SI - NO SI - NO	¿Cuál es la clasificación de diseño de las carreteras de montaña? ¿Existen medidas de seguridad? ¿Existe señalización horizontal y vertical? ¿Existe señalización preventiva?	Análisis Documental Observación	fecha bibliográfica lista de cotejo	Investigador

Fuente: Elaboración propia

## **2.6. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

El plan de procesamiento de la información para la presente investigación podría incluir los siguientes pasos:

**Recopilación de datos:** Se recopilarán datos geológicos, topográficos, climáticos y de deslizamientos en la zona de estudio, utilizando herramientas como drones, imágenes satelitales, mediciones en campo, entre otras.

**Organización de datos:** Los datos recopilados se organizarán en una base de datos y se clasificarán por tipo de información y ubicación geográfica.

**Análisis de datos:** Se utilizarán técnicas estadísticas para analizar los datos recopilados, como análisis de correlación, análisis multivariado, entre otros, con el objetivo de identificar patrones y relaciones entre las variables.

**Interpretación de resultados:** Se interpretarán los resultados obtenidos en el análisis de datos para identificar las causas y factores que influyen en la inestabilidad de los taludes en la zona de estudio.

## **CAPITULO III**

### **3. PROPUESTA METODOLÓGICA**

#### **3.1. DATOS INFORMATIVOS**

La propuesta del presente trabajo de investigación es un modelo para la protección de los taludes en carreteras de montaña desestabilizados por exceso de humedad en sus coberturas superficiales por las intensas lluvias de invierno, así como por la acción eólica.

#### **3.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña: un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador

En este estudio se abordó la problemática de los movimientos en masa, los cuales generan importantes pérdidas humanas y materiales. La principal medida para prevenir estos movimientos es la elaboración de mapas de susceptibilidad, que permiten identificar las áreas más propensas de manera rápida y económica. En el artículo, se aplicaron técnicas de evaluación multicriterio para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en una carretera montañosa del sur de Ecuador. Se seleccionaron variables relevantes que influyen en la ocurrencia de los movimientos en masa y se estableció una categorización temática para cada una de ellas, asignando factores de ponderación. La susceptibilidad se determinó utilizando un enfoque de ponderación lineal. Los resultados revelaron niveles medio y alto de susceptibilidad en la vía estudiada, con presencia de deslizamientos rotacionales y traslacionales. Este estudio proporciona un antecedente relevante para la investigación sobre protección de taludes, al demostrar la aplicabilidad de técnicas de evaluación multicriterio para la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos. (Oñate et al., 2020)

La hidrosiembra, técnica de bioingeniería para la restauración de suelos producto de actividades mineras: experiencia en el proyecto minero mirador, Zamora Chinchipe - Ecuador.

Este estudio proporciona un antecedente relevante para la investigación sobre la protección de taludes, al presentar una técnica novedosa de estabilización y protección ambiental mediante la revegetación con hidrosiembra. Además, destaca la importancia de considerar factores como la

geometría de los taludes, la selección de especies apropiadas y las técnicas ambientales complementarias al abordar problemas de erosión y sedimentación causados por la construcción de facilidades mineras a cielo abierto en zonas con altos niveles de precipitación y ecosistemas sensibles.(Romero Cando & Rivera Carrión, 2020)

Metodología simplificada para evaluación de vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña de Costa Rica

El trabajo realizado se enfoca en la evaluación de la vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña, analizando los factores determinantes como las propiedades de resistencia y las condiciones geométricas. Se proponen tres modelos de análisis: Modelo Varablanca, Modelo talud Infinito y Modelo de terraza. A través de criterios y ecuaciones definidos se obtiene un nomograma para cuantificar el grado de vulnerabilidad de un terraplén en condición drenada. El gráfico permite evaluar la vulnerabilidad mediante la comparación de los ángulos  $\theta$  y  $\beta$  con los ángulos de fricción del suelo. Se observa que la mayoría de los suelos residuales de Costa Rica tienen ángulos de fricción inferiores a  $35^\circ$ , lo que indica una alta vulnerabilidad en condiciones drenadas generalizadas. Sin embargo, las fallas se presentan solamente si los materiales se secan o si se saturan completamente. Al considerar el efecto sísmico en la evaluación, los ángulos máximos de los taludes deben disminuir o los ángulos de fricción deben ser mayores.(Ulloa Salazar & Vargas Monge, 2007)

### **3.3. JUSTIFICACIÓN**

El adecuado uso de la tecnología en los métodos de protección de taludes afectados por la saturación, disminuirá el problema de deslizamientos que provocan deterioro de las vías accidentalidad, y pérdida de vidas humanas en la Provincia de El Oro. En el Ecuador los problemas de deslizamiento de taludes se producen debido a aspectos de tipo climático, a los sistemas constructivos aplicados, al mantenimiento de nuestras vías en etapa de servicio y a la falta de programación y control de las instituciones encargadas de su conservación.

En la investigación se trata de recomendar el Modelo que puedan implementarse con seguridad en la provincia de El Oro, para la protección de taludes que se identifiquen con claridad y que están formados por suelos característicos que tienen un comportamiento geotécnico similar para las condiciones topográficas, e hidrometeorológicas.

### **3.4. OBJETIVOS**

#### ***3.4.1. Objetivo General***

Elaborar un modelo de protección de taludes mediante el análisis de condiciones del terreno en carreteras de montaña en El Oro-Ecuador, minimizando los riesgos de deslizamientos y asegurando la seguridad vial de las zonas.

#### ***3.4.2. Objetivos Específicos***

- Realizar un análisis bibliográfico de los factores que contribuyen a los deslizamientos de taludes en carreteras de montaña en El Oro-Ecuador para el modelo de protección de taludes.
- Caracterizar los tipos de protección de taludes que evitará daños en las carreteras de montaña en la provincia de El Oro-Ecuador
- Diseñar un modelo de protección de taludes adaptado a las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas específicas de las carreteras de montaña en El Oro-Ecuador

### **3.5. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA – TÉCNICA**

Se llevó a cabo una investigación titulada "Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña; un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador", en la cual se creó un mapa de susceptibilidad utilizando técnicas de evaluación que se enfocan en identificar factores que contribuyen a la inestabilidad de las laderas y ponderar su influencia en la ocurrencia de movimientos en masa. Para ello, se emplearon técnicas de evaluación multicriterio para definir la susceptibilidad de una carretera montañosa ubicada en el sur de Ecuador, seleccionando variables que influyen en la ocurrencia de los movimientos en masa y relacionándolas con diferentes eventos observados en el campo para categorizar cada variable y determinar los factores de ponderación. La susceptibilidad se definió a través de una ponderación lineal, lo que permitió identificar niveles de susceptibilidad medio y alto en la vía en estudio, con la presencia de deslizamientos rotacionales y traslacionales. (Oñate et al., 2020)

Se encontró otra investigación donde evalúa la susceptibilidad a peligros naturales a través de un enfoque de análisis espacial multicriterio que utiliza factores hidrológicos, geológicos y de uso de la tierra, debido a la falta de infraestructuras adecuadas que pueden terminar siendo perjudiciales para la sociedad más aún si el transporte entre lugares se ve obstaculizado o retrasado, especialmente debido a peligros naturales que son difíciles de controlar. Por lo tanto, determinar las áreas susceptibles a peligros naturales e incorporarlas en el proceso de planificación inicial puede reducir los daños en infraestructuras a largo plazo. Para ello utilizo proceso jerárquico analítico. Los resultados mostraron que la inundación recibió la mayor susceptibilidad, también mostraron que el análisis es útil para apoyar la toma de decisiones en la planificación temprana de carreteras, a pesar de sus limitaciones en la selección y uso de reglas y criterios de decisión. Un análisis espacial multicriterio de peligros naturales podría usarse para indicar áreas donde se necesitan más investigaciones desde un punto de vista de peligros naturales, e identificar áreas que se cree que tienen una mayor susceptibilidad a lo largo de carreteras existentes donde se podrían dirigir medidas de mitigación después de las investigaciones in situ. (Karlsson et al., 2017)

Basados en más investigaciones realizadas se encontró una serie de artículos que utilizan el método de proceso jerárquico analítico difuso (FAHP, por sus siglas en inglés) para tratar la falta de claridad en la toma de decisiones. Este método implica la utilización de matrices de comparación de pares difusos para derivar pesos, y utilizó un método de análisis para definir el peso del índice en esta investigación. Como resultado, todos los factores iniciadores de deslizamientos de tierra se armonizaron en un rango de 0 a 1 para evaluar la susceptibilidad. En resumen, el autor utiliza el método de proceso jerárquico y la teoría de conjuntos borrosos para mejorar la toma de decisiones y el mapeo de susceptibilidad en la investigación. (Moharrami et al., 2020)

Finalmente se encontró la investigación que desarrollo factores como el valor de la pendiente, la orientación de la pendiente, la elevación, la litología, el uso del suelo, la distancia a las carreteras, la distancia a la red de drenaje y la distancia a las fallas. Todas las temáticas se combinaron utilizando pesos de factores y sub-factores determinados por el método AHP para generar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos. Se proporciona un resumen del procedimiento de preparación para cada capa temática. (El Jazouli et al., 2019)

### 3.6. MODELO PARA PROTECCION DE TALUD

Tabla 3-1 Modelo de protección de Talud

FACTORES	INDICADORES	DEFINICIÓN	REFERENCIA
ANALISIS DE SUELO	CLASIFICACION DE SUELO	Implica la evaluación de las características del suelo en el talud, incluyendo parámetros relevantes. Se utilizan pruebas de laboratorio y estudios de campo para recopilar datos que servirán para comprender las características del terreno, la composición de los materiales de la zona.	(Flores et al., 2020; Karlsson et al., 2017; Oñate et al., 2020)
INSPECCIÓN VISUAL	VEGETACIÓN	Se realiza una inspección visual detallada del talud para identificar signos de inestabilidad, como grietas, deformaciones, desplazamientos y erosión. Se pueden utilizar técnicas de mapeo para obtener información precisa sobre la geometría del talud y los posibles deslizamientos pasados.	(Flores et al., 2020; Karlsson et al., 2017)
	EROSIÓN		
	PRESENCIA DE GRIETAS O FISURAS		
	PRESENCIA DE AGUA		
ANALISIS DE VULNERABILIDAD	ALTERACIÓN HUMANA	Se realizaría un análisis de vulnerabilidad para identificar las zonas con posibles escenarios de deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña. Esto ayudaría a priorizar las áreas de intervención y determinar las medidas de protección más adecuadas.	(El Jazouli et al., 2019; Flores et al., 2020; Moharrami et al., 2020)
	ANALISIS HISTORICO		
	USO DE LA VIA		
	PENDIENTE		
	DISTANCIA A LOS DRENAJES		
	DISTANCIA A LA CARRETERAS		
	DISTANCIA A FALLAS GEOLOGICAS		
	USO DE SUELO		
PRECIPITACIÓN			

Fuente: Elaboración propia

A continuación, presentamos las tablas que se utilizarán para valorar los indicadores en la evaluación de riesgos naturales en terrenos y suelos. Se utilizarán tres niveles de valoración, siendo 1 el nivel de menor riesgo y 3 el nivel de mayor riesgo. Entre ellos tenemos el análisis de suelo donde partiendo de las pruebas de laboratorio y estudios de campo para recopilar datos necesarios para identificar el tipo de suelo e identificar el riesgo debido al suelo.

Tabla 3-2 Valoración de Análisis Geotécnico

INDICADORES	FACTORES	VALORACIÓN	
ANALISIS DE SUELO	TIPO DE SUELO	Grava fina a gruesa (GW)	1
		Grava pobremente graduada (GP)	1
		Grava limosa (GM)	2
		Grava arcillosa (GC)	2
		Arena fina a gruesa. (SW)	2
		Arena pobremente graduada (SP)	2
		Arena limosa (SM)	2
		Arena arcillosa (SC)	2
		Limo (ML)	3
		Arcilla (CL)	3
		Limo orgánico, arcilla orgánica (OL)	3
		limo de alta plasticidad, limo elástico (MH)	3
		Arcilla de alta plasticidad (CH)	3
		Arcilla orgánica, Limo orgánico (OH)	3
		Turba (PT)	3

Fuente: Elaboración propia

*\*Nota: En los casos en los que el suelo tenga doble nomenclatura se deberá realizar un promedio entre ambas ponderaciones*

Además, se tiene la valoración de la inspección visual la cual identifica signos de inestabilidad, como grietas, deformaciones, desplazamientos y erosión. En la tabla se identificarán factores como vegetación, erosión, grietas o alteración humana, los cuales se sumarán dando un puntaje máximo de 3.

Tabla 3-3 Valoración de inspección visual

INDICADORES	FACTORES	VALORACIÓN
-------------	----------	------------

<i>INSPECCIÓN VISUAL</i>	VEGETACIÓN	INEXISTENCIA DE VEGETACION QUE PROTEJA EL TALUD	0.6
	EROSIÓN	EXISTE EROSION EN EL TALUD	0.6
	PRESENCIA DE GRIETAS O FISURAS	EXISTEN GRIETAS QUE PRODUZCAN PELIGRO	0.6
	PRESENCIA DE AGUA	EXISTE FLUJO DE AGUA, CHARCOS, AL DRENAJE DE AGUA DEL AMBIENTE EN EL TALUD	0.6
	ALTERACIÓN HUMANA	EXISTE ALTERACION HUMANA COMO EXCAVACIONES	0.6

*Fuente: Elaboración propia*

Se evalúa la vulnerabilidad de las zonas ubicadas cerca del talud, así como las posibles consecuencias de un deslizamiento. Esto implica considerar el análisis de la historia de deslizamientos en la zona y se recopilan datos sobre eventos pasados. el uso e importancia de la vía, además de aspectos topográficos como la pendiente, distancias a los drenajes, carreteras y fallas geológicas, uso de suelo y precipitación de la zona.

*Tabla 3-4 Valoración de Análisis de vulnerabilidad*

<i>INDICADORES</i>	<i>FACTORES</i>	<i>VALORACIÓN</i>	
<i>ANALISIS DE VULNERABILIDAD</i>	ANALISIS HISTORICO	ZONA ALTA EN DESLIZAMIENTO	3
		ZONA MEDIA EN DESLIZAMIENTO	2
		ZONA BAJA EN DESLIZAMIENTOS	1
	USO DE VIA	VIA ARTERIAL-ESTATAL	3
		VIA COLECTORA	2
		VIA CANTONAL	1
	PENDIENTE	0-5%	0
		5-20%	1
		20-35%	2
		>35%	3
	DISTANCIA A LOS DRENAJES	0-250	1
		250-500	2
		>500	3
	DISTANCIA A LA CARRETERAS	0-100	3
		100-200	2
		>200	1
	DISTANCIA A FALLAS GEOLOGICAS	0-300	3
		300-600	2
600-1000		1	

		>1000	1
	USO DE SUELO	SUELO FORESTAL	1
		SUELO AGRICOLA	2
		SUELO DEFORESTADO	3
		SUELO URBANO	3
	PRECIPITACIÓN	<500 mm/AÑO	1
		500 - 1000 mm/AÑO	2
		>1000 mm/AÑO	3

Fuente: Elaboración propia

Finalmente realizamos un análisis de riesgos y los posibles escenarios de deslizamientos de tierra en los taludes de las carreteras de montaña al obtener un promedio de las valoraciones realizadas. Esto ayudaría a indicar el nivel de intervención y determinar las medidas de protección más adecuadas. La selección de medidas de protección podría incluir sistemas de drenaje, muros de contención, anclajes, mallas de protección, reforestación, entre otros. Una vez implementadas las medidas de protección, se realizaría un monitoreo continuo para validar su efectividad y realizar ajustes si es necesario. Esto garantizaría que el modelo se ajuste a las condiciones específicas de las carreteras de montaña en Ecuador y permita una gestión adecuada de los taludes a lo largo del tiempo.

Tabla 3-5 Factores y calificación de riesgo de deslizamiento

FACTORES DE DESLIZAMIENTO	RIESGO BAJO	RIESGO MODERADO	RIESGO ALTO
ANALISIS GEOTECNICO	1	2	3
INSPECCION VISUAL Y MAPEO			
ANALISIS DE VULNERABILIDAD			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6 Modelo de protección en función al riesgo

RIESGO	MODELO DE PROTECCION
BAJO	Cubierta vegetal, Drenaje
MODERADO	Muros de contención, Bermas
ALTO	Anclajes y mallas, Reforzamiento de suelos, Hormigón Lanzado

Fuente: Elaboración propia

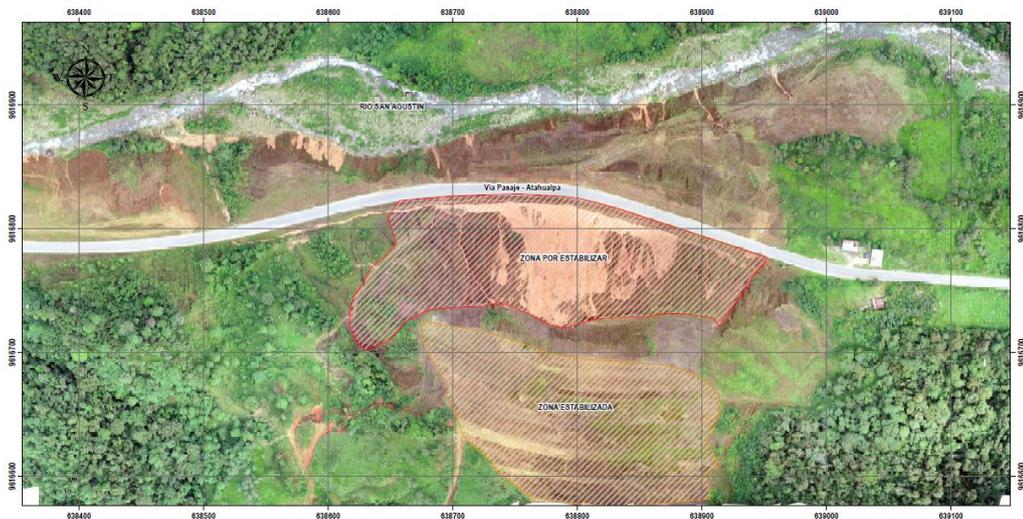
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### *ANÁLISIS DE SUELO*

A continuación, se presenta la ubicación de los estudios de suelo realizados para el proyecto de protección de taludes en carreteras de montaña. Estos estudios se llevaron a cabo en una zona específica que ha sido capturada en un mapa mediante un vuelo fotogramétrico. El mapa revela que en la zona lateral de la carretera existen dos áreas distintas. Una de estas áreas ya ha sido sometida a un proceso de estabilización, lo cual indica que se han implementado medidas para fortalecer y asegurar el talud, reduciendo así el riesgo de deslizamientos o colapsos. Por otro lado, se identifica una segunda área que aún requiere ser estabilizada. Esto implica que se deben realizar acciones adicionales para garantizar la seguridad y estabilidad de este sector del talud.



*Ilustración 3 Vuelo fotogramétrico*

*Fuente: Elaboración propia*

Los estudios de suelo desempeñan un papel fundamental en este proceso, ya que proporcionan información sobre las características geotécnicas del suelo y permiten determinar las medidas más adecuadas para la estabilización. La recopilación de cuatro muestras de suelo

en diferentes puntos estratégicos del área de estudio permitirá realizar análisis detallados y obtener datos precisos sobre las propiedades del suelo. Estos datos serán fundamentales para el diseño de las soluciones de estabilización requeridas en la zona por estabilizar, garantizando así una adecuada protección de los taludes y la seguridad de la carretera en esta área montañosa. El estudio de suelo realizado incluyó la obtención de cuatro muestras, cada una con sus respectivas características. A continuación, se describen las propiedades de cada muestra:

*Tabla 4-1 Resumen de estudios de suelo*

<i>Muestra</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Límite Líquido</i>	<i>Límite Plástico</i>	<i>Índice de Plasticidad</i>	<i>Contenido Orgánico</i>	<i>Clasificación SUCS</i>	<i>Nombre Típico</i>
1	17	29	22	7	No	SC	Arena arcillosa con grava
2	24	41	28	13	No	SM	Arena limosa con grava
3	34	56	34	22	No	MH	Limo de alta plasticidad
4	43	51	38	13	No	MH	Limo de alta plasticidad

*Fuente: Elaboración propia*

Estas características proporcionan información sobre el contenido de humedad, los límites de consistencia (límite líquido y límite plástico) y la plasticidad de cada muestra de suelo. Además, se indica la clasificación SUCS de cada muestra y se proporciona un nombre típico que describe las propiedades del suelo. Esta información es relevante para comprender las propiedades geotécnicas de los suelos y su comportamiento en diferentes condiciones.

### ***INSPECCIÓN VISUAL***

Se llevó a cabo una inspección visual exhaustiva en el área de estudio para evaluar diferentes parámetros que podrían afectar la estabilidad de los taludes en las carreteras de montaña. Los resultados de esta inspección se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan observaciones importantes sobre la vegetación, erosión, presencia de grietas, presencia de agua y alteraciones humanas.

En la inspección, se observó una inexistencia de la vegetación lo que podría indicar una menor capacidad de retención del suelo y mayor riesgo de erosión. Por ellos también se

identificó la presencia de erosión en diferentes grados en varios puntos de inspección. Esto llevaría a una debilidad en la estabilidad del suelo. La presencia de grietas en algunos puntos indica posibles procesos de deterioro en el suelo, los cuales podrían agravarse con el tiempo y afectar la estabilidad. Se registró la presencia de agua en algunos puntos de inspección, lo cual es relevante en el riesgo de movimientos de masa y deslizamientos. La presencia de agua en combinación con la erosión y la falta de vegetación adecuada puede aumentar la inestabilidad de los taludes. Finalmente, partes de estos parámetros observados se debe a las alteraciones humanas en el Talud, lo que incluye la remoción de vegetación, excavaciones u otras actividades que debilitan la estabilidad del talud.

### ***ANALISIS DE VULNERABILIDAD***

#### *ANALISIS HISTORICO*

Atreves de análisis documental se encontraron datos de estudio de la zona, los cuales describen zonas críticas en la vía Buenavista - Vega Rivera - Paccha – Zaruma, en ellas se encontraron varios sitios. En el sitio crítico N° 1, ubicado en la abscisa 24+925 de la carretera, se ha identificado una situación de inestabilidad significativa causada principalmente por las aguas de lluvia. Además, los movimientos observados tienen características regionales, lo que indica que se trata de un problema de movimiento de masa reciente. La calzada de la vía atraviesa el material que forma parte del cuerpo deslizado, lo que ha generado un desafío adicional para garantizar la estabilidad de la carretera. El material aún no ha alcanzado su estabilidad y continúa experimentando un movimiento activo. Como resultado de esta situación, se ha producido un asentamiento en la vía. (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)



*Ilustración 4 Sitio 1*

*Fuente: Estudios para la carretera "BUENA VISTA - VEGA RIVERA - PACCHA - ZARUMA" ubicada en la provincia de El Oro (Asociación ACP- Cevaconsult, 2014)*

En el sitio crítico N° 2, ubicado en la abscisa 43+146 de la carretera Buenavista - Vega Rivera - Paccha - Zaruma, la información relevante sobre las características del terreno desde la abscisa 41+300 hasta la 77+500 indica que los cerros en el sector por donde se construye la carretera consisten en rocas ígneas de tipo andesita. Sin embargo, es importante destacar que estas rocas de composición química intermedia son propensas a la meteorización, lo que resulta en la formación de arcilla de color rojizo muy susceptible a la erosión. Durante la estación lluviosa, los deslizamientos de tierra son muy frecuentes en esta zona debido a la naturaleza deleznable de la arcilla producto de la meteorización de las rocas. Esto presenta un desafío significativo para la estabilidad de la carretera, ya que los deslizamientos pueden afectar la calzada y comprometer la seguridad de los usuarios. (Asociación ACP- Cevaconsult, 2014)



*Ilustración 5 Sitio 2*

*Fuente: Estudios para la carretera "BUENA VISTA - VEGA RIVERA - PACCHA - ZARUMA" ubicada en la provincia de El Oro (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)*

El Sitio Crítico N° 3 se encuentra en la abscisa 44+950 de la carretera Buenavista - Vega Rivera - Paccha - Zaruma. Los cerros en el sector por donde se construye la carretera consisten en rocas ígneas de tipo andesita. Durante la estación lluviosa, los deslizamientos son muy frecuentes en esta zona debido a la naturaleza deleznable de la arcilla producto de la meteorización de las rocas. (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)



*Ilustración 6 Sitio 3*

*Fuente: Estudios para la carretera "BUENA VISTA - VEGA RIVERA - PACCHA - ZARUMA" ubicada en la provincia de El Oro (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)*

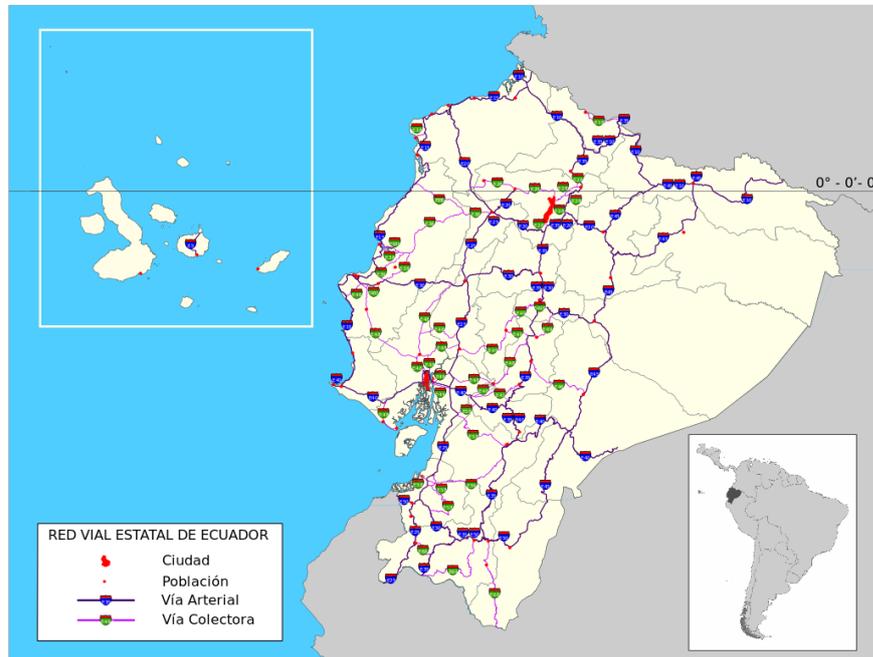
En el Sitio Crítico N° 4, ubicado en la abscisa 49+166.89, se encuentra una pendiente del talud de aproximadamente el 50%, la carretera presenta rocas similares a las del tramo previamente mencionado. Durante la estación lluviosa, se producen deslizamientos con frecuencia debido a la presencia de esta arcilla deleznable. (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)



*Ilustración 7 Sitio 4*

*Fuente: Estudios para la carretera "BUENA VISTA - VEGA RIVERA - PACCHA - ZARUMA" ubicada en la provincia de El Oro (Asociación ACP– Cevaconsult, 2014)*

## USO DE VIA



*Ilustración 8 Mapa red vial del Ecuador*

*Fuente: Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2022)*

La vía colectora Y de Pasaje-Piñas-Y de Zaracay es una de las vías secundarias en Ecuador que cumple la función de recolectar el tráfico de una zona rural o urbana y dirigirlo hacia las vías primarias o corredores arteriales. Esta vía tiene una longitud total de 50 km y forma parte de las 43 vías secundarias que existen en el país, representando aproximadamente el 33% de la Red Vial Estatal.

### *PENDIENTE*

De acuerdo con el levantamiento realizado y los cortes de los taludes presentados en los anexos, se determinó que la pendiente del talud es de 29 grados. Esta medida se refiere al ángulo de inclinación desde la calzada de la carretera hasta la parte más alta del talud. En este caso, una pendiente de 29 grados indica que el talud tiene una inclinación de 55% para el uso de la tabla de análisis de vulnerabilidad.

### *DISTANCIA A LOS DRENAJES*

Durante la inspección realizada, se observó que la distancia entre los drenajes en la zona analizada varía entre los 250 metros y los 500 metros. Los drenajes son estructuras importantes

en una carretera, ya que permiten el adecuado drenaje del agua de lluvia, evitando la acumulación de agua en la vía. El establecimiento adecuado de los drenajes y su distribución equitativa a lo largo de la carretera son aspectos clave para garantizar un buen funcionamiento del sistema de drenaje y minimizar los riesgos de inundaciones y daños en la vía.

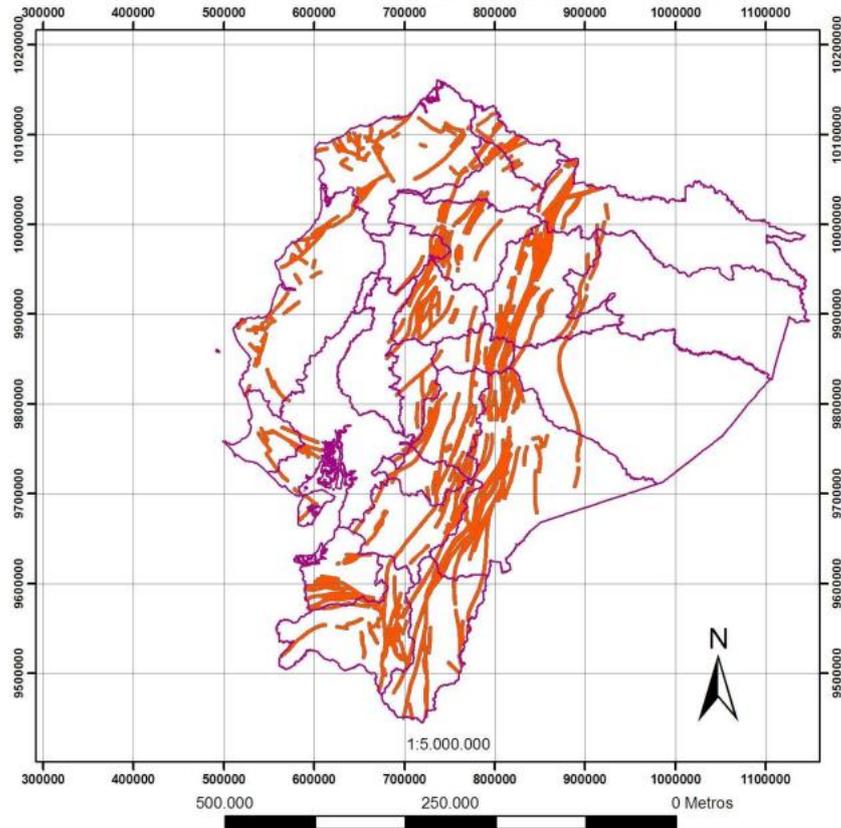
#### *DISTANCIA A LA CARRETERAS*

Durante la inspección realizada, se determinó que la distancia desde la parte más alta del talud hasta la carretera es superior a 200 metros. Esto significa que hay una considerable separación entre el punto más elevado del talud y la carretera. Esta distancia entre el talud y la carretera es importante, ya que ayuda a garantizar la estabilidad y la seguridad de la vía. Al existir una distancia significativa, se reduce el riesgo de deslizamientos o colapsos del talud que puedan afectar directamente a la carretera y a los vehículos que transitan por ella. Por otro lado, se observó que la parte más baja del talud colinda con la vía Pasaje-Zaruma lo que indica que existe una conexión directa entre el talud y esta carretera, lo cual requiere especial atención en términos de estabilidad y posibles impactos en la infraestructura vial.

#### *DISTANCIA A FALLAS GEOLOGICAS*

Las fallas geológicas fueron identificadas a través de la observación de mapas proporcionados por la Secretaría de Gestión de Riesgos. Estos mapas muestran la ubicación y distribución de las fallas en zonas. Durante el proceso de observación, se pudo determinar que las distancias entre las fallas geológicas y el sitio de estudio varían entre 600 y 1000 metros. Es importante destacar que también se identificaron otras fallas geológicas a distancias mayores. Estas fallas, aunque están más alejadas del sitio de estudio, también son relevantes para el análisis del área en términos de riesgos geológicos y estabilidad del terreno.

Las fallas geológicas son fracturas en la corteza terrestre donde se ha producido un desplazamiento de las rocas a lo largo del tiempo. Estas fallas pueden tener implicaciones significativas en la estabilidad del terreno y en la generación de eventos geológicos, como terremotos y deslizamientos. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las fallas geológicas en los estudios de riesgo y planificación de proyectos en la zona. La información obtenida a partir de la observación de los mapas de la Secretaría de Gestión de Riesgos contribuye a una mejor comprensión de la geología local y ayuda a tomar decisiones informadas para garantizar la seguridad y la gestión adecuada de los riesgos geológicos en el área analizada.



*Ilustración 9 Fallas Geológicas Ecuador*

*Fuente: Fallas Geológicas (Secretaría nacional de Gestión de riesgo, 2010)*

### *USO DE SUELO*

En las zonas colindantes al talud analizado, se identifica un uso predominante del suelo como forestal. Estas áreas están compuestas principalmente por árboles y vegetación, sin una gran extensión de terrenos destinados a viviendas o actividades agrícolas. El paisaje natural se caracteriza por su cobertura forestal y la presencia de ecosistemas vegetales. Sin embargo, es importante mencionar que en la zona del talud específico que fue analizado, se observa una situación diferente. Esta área ha sufrido una alteración debido a la intervención humana, lo que ha resultado en la deforestación de parte del terreno. Es probable que actividades como la tala de árboles y la remoción de vegetación hayan tenido lugar en esta zona.

### *PRECIPITACIÓN*

Según la información obtenida del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y diversas investigaciones, se ha determinado que la precipitación media anual en el

lugar se encuentra en un rango de 500 a 1000 mm/año. La precipitación media anual es un indicador importante para comprender el clima y las condiciones hidrológicas de una región. Este rango de precipitación indica que el área estudiada tiene una cantidad moderada a significativa de lluvia a lo largo del año. Es importante destacar que la precipitación puede variar en diferentes momentos y estaciones del año. Las condiciones climáticas locales, como la influencia de sistemas meteorológicos, la topografía y otros factores, pueden influir en la distribución y la cantidad de precipitación.

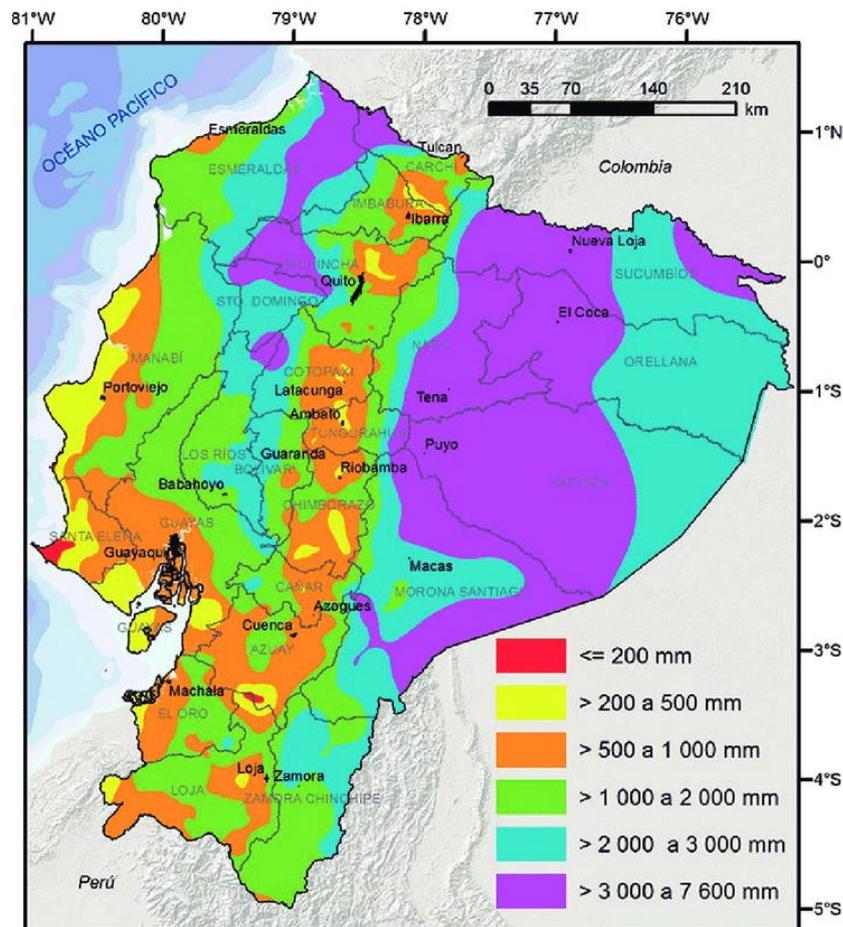


Ilustración 10 Pluviometría media anual en el Ecuador.

Fuente: Suelos Ecuador - Características, Uso y Manejo (Espinosa et al., 2022)

## 4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con la información recolectada y basados en la tabla 4 se indica que la Arena arcillosa (SC) tiene una valoración de 2, al igual que la arena limosa (SM) y el limo de alta plasticidad,

limo elástico (MH) con una valoración de 3 por el hecho de no ser suelos buenos, dando como promedio redondeado 2.00 indicando un riesgo medio.

Tabla 4-2 Resultado de tipo de suelo

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	NOMBRE TÍPICO	VALORACIÓN
1	SC	Arena arcillosa con grava	2
2	SM	Arena limosa con grava	2
3	MH	Limo de alta plasticidad	3
4	MH	Limo de alta plasticidad	3
PROMEDIO			2

Fuente: Elaboración propia

En los resultados de la inspección visual se pudo comprender la condición actual del talud en la carretera estudiada. A partir de estos hallazgos se indican los siguientes valores propuestos en la Tabla 11, donde la suma total es de 3 indicando un riesgo alto por efecto de los parámetros inspeccionados.

Tabla 4-3 Resultados de la inspección visual

PARAMETRO	CRITERIO	EXISTE/ NO EXISTE	OBSERVACION	VALORACIÓN
VEGETACIÓN	¿La pendiente del talud cuenta con abundante vegetación endémica que aporte con estabilidad al material del mismo?	No existe	En la zona de estudio no existe vegetación por la erosión.	0.6
EROSIÓN	¿En la zona existe erosión en el suelo del talud, tanto en la corona como en su base?	Existe	Existe en la base ya que antes se explotaba material de suelo residuales de tipo arcilloso.	0.6
PRESENCIA DE GRIETAS O FISURAS	¿El talud cuenta con grietas que se perciban como peligrosas ante el desprendimiento del suelo?	Existe	Se han conformado cárcavas por la erosión de la escorrentía del agua lluvia.	0.6
PRESENCIA DE AGUA	¿Existe flujo de agua, charcos o drenaje naturales de agua en el talud?	Existe	Existen cárcavas formadas por la escorrentía de aguas lluvias.	0.6
ALTERACIÓN HUMANA	¿Existe alteración humana como excavaciones, caminos u obras que cambien el estado natural del talud?	Existe	Existe excavaciones hecha por maquinaria pesada	0.6
<b>TOTAL</b>				<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia

La valoración de la vulnerabilidad se llevó a cabo mediante el análisis de diversos factores importantes que influyen en la estabilidad y seguridad de la carretera. La Tabla 6 proporciona una evaluación detallada de estos factores clave, incluyendo el análisis histórico, uso de la vía, pendiente, distancia hasta los drenajes, carreteras y fallas geológicas, uso de suelo y precipitación media anual. Cada uno de estos factores fue calificado y ponderado según su nivel de influencia en la vulnerabilidad de la carretera. El análisis histórico consideró eventos pasados de deslizamientos, derrumbes u otros problemas relacionados con la estabilidad del terreno. El uso de la vía evaluó la importancia en relación a la conectividad de la misma, mientras que la pendiente midió la inclinación del terreno en la zona estudiada. La distancia hasta los drenajes y carreteras cercanas fue otro aspecto considerado, ya que la proximidad a estas estructuras puede aumentar el riesgo de erosión y deslizamientos. Además, se evaluaron las fallas geológicas presentes en la zona, ya que su actividad puede generar movimientos de masa. El uso de suelo se analizó para determinar si había una presencia significativa de vegetación y áreas forestales, o si el terreno estaba desforestado o alterado por la actividad humana. Por último, la precipitación media anual se consideró como un factor clave, ya que la cantidad de lluvia puede influir en la estabilidad del terreno y aumentar el riesgo de deslizamientos.

*Tabla 4-4 Resultados de Análisis de vulnerabilidad*

<i>INDICADORES</i>	<i>FACTORES</i>	<i>VALORACIÓN</i>	
<i>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD</i>	ANÁLISIS HISTÓRICO	ZONA ALTA EN DESLIZAMIENTO	3
	USO DE VÍA	VÍA COLECTORA	2
	PENDIENTE	>35%	3
	DISTANCIA A LOS DRENAJES	250-500	2
	DISTANCIA A LA CARRETERAS	0-100	3
	DISTANCIA A FALLAS GEOLOGICAS	600-1000	1
	USO DE SUELO	SUELO FORESTAL	1
	PRECIPITACIÓN	500 - 1000 mm/AÑO	2
<i>PROMEDIO</i>			2

*Fuente: Elaboración propia*

Tras la evaluación y puntuación de cada factor, se obtuvo un promedio redondeado de 2 de un total de 3, lo que indica que el riesgo es medio. Esta valoración refleja que, si bien existen

ciertos elementos de vulnerabilidad y riesgo en la zona estudiada, no alcanzan un nivel crítico. Sin embargo, se recomienda tomar medidas de precaución y monitoreo continuo para minimizar cualquier posible impacto negativo y mantener la seguridad de la carretera en todo momento.

Con base en los valores obtenidos en el análisis de suelo, inspección visual y análisis de vulnerabilidad, se ha calculado un promedio total de 2.3, lo cual indica un nivel de riesgo moderado a alto para la zona estudiada. Este valor es fundamental para determinar el tipo de modelo de protección que se debe implementar. Dadas las circunstancias, se sugiere considerar dos opciones principales: la construcción de muros de contención o la creación de bermas. Sin embargo, es necesario llevar a cabo un análisis detallado para determinar cuál de estas opciones es más viable desde diferentes perspectivas, como tiempos de construcción, presupuestos, vida útil y la importancia de su implementación.

El análisis a detalle permitirá evaluar los beneficios y las limitaciones de cada opción, considerando los aspectos técnicos, económicos y de seguridad. Se deben tener en cuenta factores como la estabilidad del terreno, la capacidad de retención de los muros de contención, la efectividad de las bermas en el control de deslizamientos, la durabilidad de los materiales utilizados y la disponibilidad de recursos y financiamiento.

Además, se deben considerar los impactos ambientales y sociales de cada opción, así como la relación costo-beneficio a largo plazo. Es esencial realizar consultas con expertos en ingeniería geotécnica y llevar a cabo estudios complementarios para tomar una decisión informada y segura.

*Tabla 4-5 Modelo de protección de Talud*

<i>FACTORES DE DESLIZAMIENTO</i>	<i>RIESGO</i>			<i>MODELO DE PROTECCION</i>
<i>ANALISIS DE SUELO</i>	<i>RIESGO MEDIO</i>	2	2	Muros de contención, Bermas
<i>INSPECCION VISUAL</i>	<i>RIESGO ALTO</i>	3		
<i>ANALISIS DE VULNERABILIDAD</i>	<i>RIESGO MEDIO</i>	2		

*Fuente: Elaboración propia*

## CONCLUSIONES

El análisis bibliográfico realizado sobre los factores que contribuyen a los deslizamientos de taludes en carreteras de montaña en El Oro, Ecuador ha proporcionado una base sólida para el modelo de protección de taludes. A través de la revisión de diversos artículos científicos, como "Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña; un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador" y "Análisis espacial multicriterio que utiliza factores hidrológicos, geológicos y de uso de la tierra", se han identificado factores clave como el suelo, la inspección visual y el análisis de vulnerabilidad. Estos estudios han proporcionado información valiosa sobre los diferentes elementos que pueden influir en los deslizamientos de taludes en carreteras de montaña en la provincia de El Oro.

La caracterización de los tipos de protección de taludes en las carreteras de montaña en la provincia de El Oro, Ecuador ha permitido identificar diversas estrategias que pueden ser implementadas para evitar daños y garantizar la estabilidad de las vías. Las opciones de protección encontradas dependerán del nivel de riesgo específico que presente cada talud y su entorno y esas podrán ser: cubierta vegetal es una opción efectiva para reducir la erosión y mejorar la estabilidad del terreno, especialmente en zonas con vegetación natural. El drenaje adecuado es fundamental para controlar el flujo de agua y evitar la acumulación que pueda generar deslizamientos. Los muros de contención y las bermas son alternativas comunes utilizadas en taludes de alto riesgo. Estas estructuras proporcionan soporte y estabilización adicionales al terreno, evitando posibles deslizamientos. Los anclajes y mallas se utilizan para reforzar la resistencia del suelo y prevenir movimientos no deseados. El reforzamiento de suelos consiste en técnicas que mejoran las propiedades del terreno, como la compactación o la inyección de materiales estabilizantes. Estas medidas fortalecen el suelo y reducen el riesgo de deslizamientos. El hormigón lanzado se utiliza en casos de alta peligrosidad, ya que crea una barrera física y resistente contra movimientos de masa.

Se diseñó un modelo de protección de taludes adaptado a las características geológicas, geotécnicas y climáticas de las carreteras de montaña en El Oro, Ecuador, considerando factores como el tipo de suelo, la pendiente, el clima. La metodología cumple con el análisis de criterios de suelo, inspección visual y vulnerabilidad los cuales en la zona estudiada presenta un riesgo

medio en cuanto a deslizamientos de taludes en carreteras de montaña en la provincia de El Oro, Ecuador. Esto se debe a la valoración promedio obtenida fue de 2.3 y con ello se recomienda implementar un modelo de protección adaptado a las características donde se sugiere considerar opciones como la construcción de muros de contención o la creación de bermas, y realizar un análisis detallado para determinar cuál de ellas es más viable en términos técnicos, económicos y de seguridad. Es fundamental evaluar los beneficios, las limitaciones, los impactos ambientales y sociales, y la relación costo-beneficio a largo plazo antes de tomar una decisión final.

## **RECOMENDACIONES**

Es importante tomar en consideración diseñar los taludes con las medidas de protección inmediatas, evitando así la erosión de los suelos que fueron expuestos luego que se procedió al corte de la naturaleza.

Definitivamente las carreteras de montaña no deberían diseñarse dentro de zonas de fallas geológicas, que ocasionan múltiples problemas con el paso de los tiempos dejando un costo de mantenimiento exorbitante de por vida y un problema muy costoso en su mayoría por resolver mediante la ingeniería de vías, donde se involucran demás profesionales.

Para un enfoque integral en la protección de taludes, es recomendable promover la colaboración entre diferentes instituciones, como entidades gubernamentales, organismos de investigación, empresas constructoras y comunidades locales. Trabajar en conjunto permitirá compartir conocimientos, recursos y experiencias, lo que contribuirá a mejorar la efectividad y sostenibilidad del modelo de protección.

## REFERENCIAS

- Alejo, R. A., Gomez, J. A. M., & Hualpa, I. A. P. (2022). Mapeo de inestabilidad de laderas en cuencas de fuerte pendiente mediante el enfoque de talud infinito. *Veritas et Scientia*, *11*(1), 112–124. <https://doi.org/10.47796/VES.V11I1.601>
- Álvarez, V., Yinei, H. M., Carballo, B., Solís, E., Joserrit, C. M. C., & Alanís, E. G. (2020). Métodos de estabilización de taludes. *Revista Innova Ingeniería*, *1*(5), 10–10. <https://www.innovaingenieria.uagro.mx/innova/index.php/innova/article/view/86>
- Ángel, J., Medina, C., Leal, L. L., & Cerezo, P. G. (2009). Conservación y explotación de carreteras Conservación Segunda Edición. ISBN: 9788492686377. [www.fundacionlaboral.org](http://www.fundacionlaboral.org)
- Asociación ACP– Cevaconsult. (2014). *Estudios para la carretera “Buena vista - Vega rivera - Paccha - Zaruma” ubicada en la provincia de el oro.*
- Bañón, L., & Beviá García, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto. *Caminos I ISSN: 8460702677.*
- Berenguer, I. F., Martínez, I. C., & Tristán, J. G. (2019). Influencia de la permeabilidad del suelo no saturado en los taludes de presas de tierra. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental ISSN: 1680-0338.* [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382019000300086](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000300086)
- Blanco, V. Z. (1987). Breve historia de las Carreteras. *Revista de Obras Públicas*, 27–38.
- Capra, L., Hubp, J. L., & Hernández, N. D. (2003). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas ISSN: 1026-8774*, *20*(2), 95–106.
- Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (ISSN: 9789586488594). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1t03DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=James+C%C3%A1rdenas+Grisales,+en+su+libro:+Dise%C3%B1o+geom%C3%A9trico+de+carreteras&ots=v3wsKFNISE&sig=H0lyX8PpLgz5K991m47WhA6VO8k#v=onepage&q=James%20C%C3%A1rdenas%20Grisales%2C%20en%20su%20libro%3A%20Dise%C3%B1o%20geom%C3%A9trico%20de%20carreteras&f=false>

- Carrión-Mero, P., Loor-Oporto, O., Andrade-Ríos, H., Herrera-Franco, G., Morante-Carballo, F., Jaya-Montalvo, M., Aguilar-Aguilar, M., Torres-Peña, K., & Berrezueta, E. (2020). Quantitative and Qualitative Assessment of the “El Sexmo” Tourist Gold Mine (Zaruma, Ecuador) as A Geosite and Mining Site. *Resources 2020, Vol. 9, Page 28, 9(3), 28*. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES9030028>
- Chen, W., Pourghasemi, H. R., & Naghibi, S. A. (2017). Prioritization of landslide conditioning factors and its spatial modeling in Shangnan County, China using GIS-based data mining algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment 2017 77:2, 77(2), 611–629*. <https://doi.org/10.1007/S10064-017-1004-9>
- Craig, A. M. L., & Filho, O. A. (2020). Landslide Susceptibility Mapping of Highway Slopes, Using Stability Analyses and GIS Methods. *Soils and Rocks, São Paulo, 43, 71–84*. <https://doi.org/10.28927/SR.431071>
- Crespo-Fajardo, J. L. (2019). Revelando el sistema de carreteras en Ecuador. Anotaciones sobre La ordenación de la red vial. El cantón de Cuenca (2016). Enrique Flores. *Revista de La Facultad de Arquitectura de La Universidad Autónoma de Nuevo León, XIII(19), 103–104*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- del Japón, A. de C. (1984). Manual de protección de taludes. *Japón: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres*.
- DOBRESCU, C.-F., CĂLĂRAȘU, E.-A., & HUZUI-STOICULESCU, A. E. (2018). Integrative analysis used for landslide susceptibility zoning at local scale based on GIS modeling. *Ce/Papers, 2(2–3), 293–298*. <https://doi.org/10.1002/CEPA.686>
- Dolojan, N. L. J., Moriguchi, S., Hashimoto, M., & Terada, K. (2021). Mapping method of rainfall-induced landslide hazards by infiltration and slope stability analysis: A case study in Marumori, Miyagi, Japan, during the October 2019 Typhoon Hagibis. *Landslides, 18(6), 2039–2057*. <https://doi.org/10.1007/S10346-020-01617-X/METRICS>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters, 6(1), 1–12*. <https://doi.org/10.1186/S40677-019-0119-7/FIGURES/5>

- Espinosa, J., Mite, F., Alvarado Ochoa, S., & Moreno Izquierdo, J. (2022). Suelos Ecuador - Características, Uso y Manejo. *Instituto Geográfico Militar (IGM)*. <https://doi.org/10.2307/211984>
- Flores, S., En, G. M., Ruiz, R., En, S. M., Jesús, C., López, A., En, M., Gaudencio, C., & López Mendoza, V. (2020). Estudio de la estabilidad de laderas en la colonia José María Izazaga. *Revista Innova Ingeniería*, *1*(5), 7–7. <https://www.innovaingenieria.uagro.mx/innova/index.php/innova/article/view/90>
- García Ramírez, Y. D., & Cuenca, W. (2021). Percepción del peligro del conductor novato en carreteras de montaña: un caso de estudio en Ecuador. *Avances: Investigación En Ingeniería*, ISSN-e 1794-4953, Vol. 18, N°. 1, 2021, Págs. 1-1, 18(1), 1–1. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6562>
- García, W. F., Delfín, M. S., Ledezma, M., & Arévalo, B. (2021). Integrando métodos de evaluación de riesgos de deslizamientos e inundaciones en cuencas del Tunari y zona de Alto Cochabamba. *Acta Nova*, *10*(1), 61–95. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892021000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892021000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- García-Ramírez, Y., Camacho, J., & Montoya, J. (2021). Uso del modelo iRAP para evaluar la seguridad vial en carreteras de dos carriles en Ecuador. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, *4*(1), 7–23. <https://doi.org/10.22206/CYAP.2021.V4I1.PP7-23>
- Grattz, K. L., Salazar, J. D., Rodríguez, C. E., Grattz, K. L., Salazar, J. D., & Rodríguez, C. E. (2018). Análisis de los factores que determinan el diseño de mallas metálicas para la estabilización de taludes en macizos rocosos. *Obras y Proyectos*, *23*, 25–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132018000100025>
- Historia Vial Del Ecuador*. (n.d.). Retrieved May 1, 2023, from <https://wiac.info/docviewer>
- Instituto Nacional de Patrimonio cultural. (2013). *Diagnóstico arqueológico: proyecto rectificación y mejoramiento de la carretera Buena vista – Vega Rivera – Paccha - Zaruma, provincia de El Oro*.
- Irigaray, C., Lamas, F., El Hamdouni, R., Fernández, T., & Chacón, J. (2000). The importance of the precipitation and the susceptibility of the slopes for the triggering of landslides along

the roads. *Natural Hazards*, 21(1), 65–81.  
<https://doi.org/10.1023/A:1008126113789/METRICS>

Karlsson, C. S. J., Kalantari, Z., Mörtberg, U., Olofsson, B., & Lyon, S. W. (2017). Natural Hazard Susceptibility Assessment for Road Planning Using Spatial Multi-Criteria Analysis. *Environmental Management*, 60(5), 823–851. <https://doi.org/10.1007/S00267-017-0912-6/TABLES/12>

Li, X., Rendón Díaz, L., Espinoza Ayala, J., & González, J. (2011). Evaluación de efectos de sumersión en la estabilidad de taludes. *Tecnología y Ciencias Del Agua ISSN: 2007-2422*, 2(4), 149–165. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222011000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Lisboa, J. C. (2016). Apuntes sobre métodos de investigación. *Método En La Ciencia*, 18–25. <http://www.medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/2977>

Lozano, P., & Bussmann, R. (2005). Importancia de los deslizamientos en el Parque Nacional Podocarpus, Loja, Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 195–202. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332005000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Macea-Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez-Díaz, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/J.RIIT.2016.06.007>

Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., & García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.11.005>

Mariano, A. di, Gost, X., Gens Solé, & Álvarez, E. (2022). Auscultación y análisis numérico de un talud en movimiento. *Taludes 2022: X Simposio Nacional Sobre Taludes y Laderas Inestables ISBN: 978-84-123222-7-9.*, 695–702.

Martínez Raya, A., Aguilar Ruiz, J., & Durán Zuazo, V. H. (2002). Control de la erosión en los taludes de bancales, en terrenos de fuertes pendientes. *Edafología, ISSN 1135-6863*, 9(1), 1–10.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=847817&info=resumen&idioma=SPA>

- Ministerio de transporte y obras públicas. (2016). *Plan Estratégico de Movilidad. República del Ecuador*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2022). *Mapa de la Red Vial Estatal – Ecuador*.  
<https://www.obraspublicas.gob.ec/mapa-estado-de-carreteras-ecuador/>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas – MTOP. (n.d.). *Viabilidad del proyecto: reconstrucción de la carretera Buena vista – Vega Rivera – Paccha – Zaruma*.
- Moharrami, M., Naboureh, A., Nachappa, T. G., Ghorbanzadeh, O., Guan, X., & Blaschke, T. (2020). National-Scale Landslide Susceptibility Mapping in Austria Using Fuzzy Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2020, Vol. 9, Page 393, 9(6), 393. <https://doi.org/10.3390/IJGI9060393>
- Moreno Alcivar, L. C. (2022). Identificación de tipos de deslizamientos en la zona de acantilados entre Ancón y Anconcito, Santa Elena, Ecuador. *Manglar*, 19(3), 247–255. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.031>
- Mucuta-Lito, H. V., Cartaya-Pires, M., Watson-Quesada, R. L., Mucuta-Lito, H. V., Cartaya-Pires, M., & Watson-Quesada, R. L. (2020). Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad. *Minería y Geología*, 36(4), 441–450. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1993-80122020000400441&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000400441&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2008). NEC-SE-GC Geotecnia y cimentaciones. In *Design and Optimization of Metal Structures*.
- Oñate, F., Alzarez, M., Esparza, C., & Oñata, A. (2020). Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña: un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador . *Avances Investigación En Ingeniería ISSN: 1794-4953*. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/6633/6220>
- Osiris de Leon, R. (2005). *Suelos Y Rocas Susceptibles a los Fenómenos Hidrometeorológicos*. <https://www.yumpu.com/es/document/read/13234233/suelos-y-rocas-susceptibles-a-los-fenomenos-hidrometeorologicos>
- Palacio Cordoba, J., Mergili, M., & Aristizábal, E. (2020). Probabilistic landslide susceptibility analysis in tropical mountainous terrain using the physically based r.slope.stability model.

*Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(3), 815–829.  
<https://doi.org/10.5194/NHESS-20-815-2020>

Peruzzetto, M., Mangeney, A., Grandjean, G., Levy, C., Thiery, Y., Rohmer, J., & Lucas, A. (2020). Operational Estimation of Landslide Runout: Comparison of Empirical and Numerical Methods. *Geosciences* 2020, Vol. 10, Page 424, 10(11), 424.  
<https://doi.org/10.3390/GEOSCIENCES10110424>

Pucha Aguinosa, P. A., & Zárate Torres, B. A. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances: Investigación En Ingeniería, ISSN-e 1794-4953, Vol. 17, Nº. 2, 2020 (Ejemplar Dedicado a: Especial Carreteras de Montaña), Págs. 1-15, 17(2), 1–15.*  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7855038&info=resumen&idioma=ENG>

Quevedo Guerreño, J. N., Jácome Vásquez, J. E., Tuz Guncay, I. G., García Batista, R. M., & Luna Romero, Á. E. (2020). Análisis de diversidad fenotípica de 37 accesiones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) En la zona sur del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 102–108. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202020000300102&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300102&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Romero Cando, J., & Rivera Carrión, A. (2020). La hidrosiembra, técnica de bioingeniería para la restauración de suelos producto de actividades mineras: experiencia en el proyecto minero mirador, Zamora Chinchipe - Ecuador. *Revista de Medio Ambiente y Minería ISSN: 2519-5352*, 5(1), 11–21.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522020000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Salazar, Á. U., & Monge, W. V. (2007). Metodología simplificada para evaluación de vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña de Costa Rica. *Infraestructura Vial ISSN: 2215-3705*, 9(18), 4–14.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2051>

Salvatierra, J. A. P. (2019). Deslizamientos en carreteras de montaña: propuesta de cálculo del bloque deslizante. *Ingeniería. Revista de La Universidad de Costa Rica ISSN: 1409-2441*, 29(1), 52–64.

Secretaría nacional de Gestión de riesgo. (2010). *Fallas Geológicas*.

Tomás, R., Riquelme, A., Cano, M., Pastor, J. L., Pagán, J. I., Asensio, J. L., & Ruffo, M. (2020). Evaluation of the stability of rocky slopes using 3D point clouds obtained from an unmanned aerial vehicle. *Revista de Teledetección*, 2020(55), 1–15. <https://doi.org/10.4995/RAET.2020.13168>

Turner, A. K. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 1–25. <https://doi.org/10.1007/S41062-018-0175-Y/METRICS>

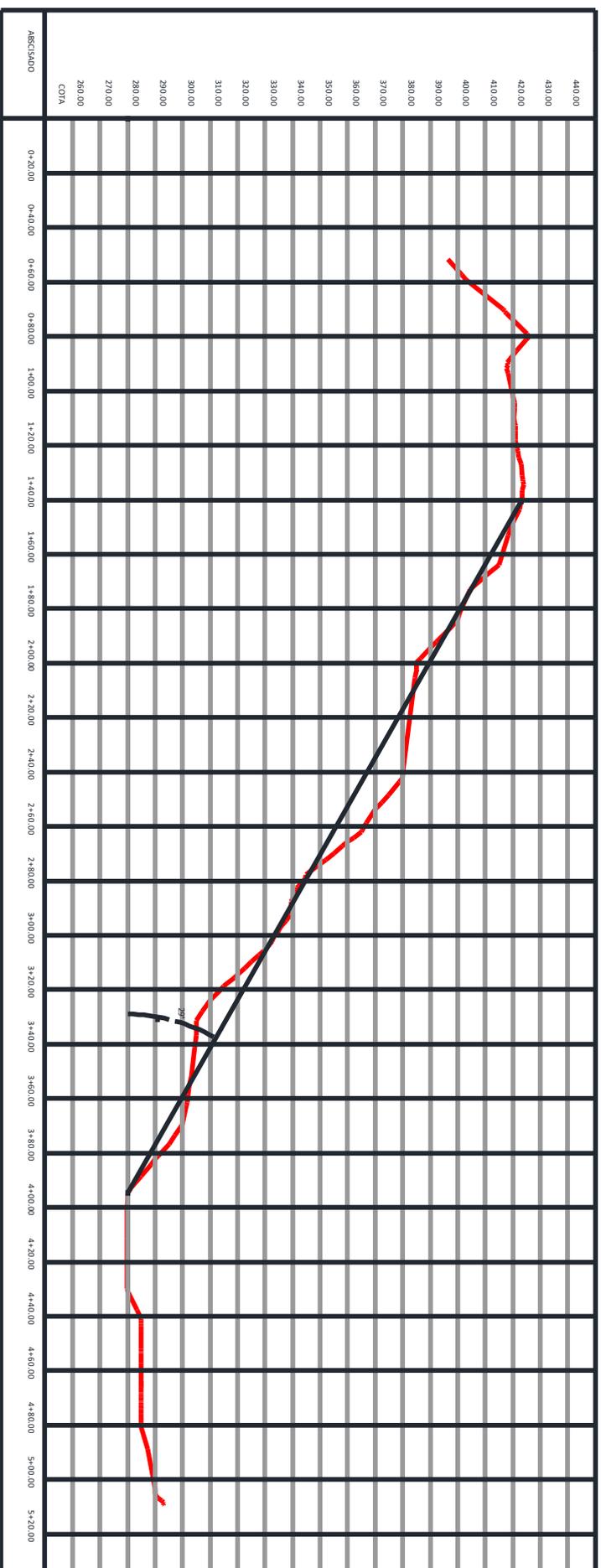
Ulloa Salazar, Á., & Vargas Monge, W. (2007). Metodología simplificada para evaluación de vulnerabilidad geotécnica de terraplenes en carreteras de montaña de Costa Rica. *Infraestructura Vial*, ISSN 1409-4045, ISSN-e 2215-3705, 18, 4–14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5051946&info=resumen&idioma=SPA>

van Asch, T. W. J., Van Beek, L. P. H., & Bogaard, T. A. (2007). Problems in predicting the mobility of slow-moving landslides. *Engineering Geology*, 91(1), 46–55. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2006.12.012>

Viviana, Y., Castellanos, A., Flores Berenguer, I., Tristán, J. G., & Haramboure, Y. G. (2021). EFECTO DE OCLUSIÓN DE DRENAJE EN ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESAS DE TIERRA CON SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS. *Revista Ciencia y Construcción*, 2(2), 66–77. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/47>

# ANEXOS

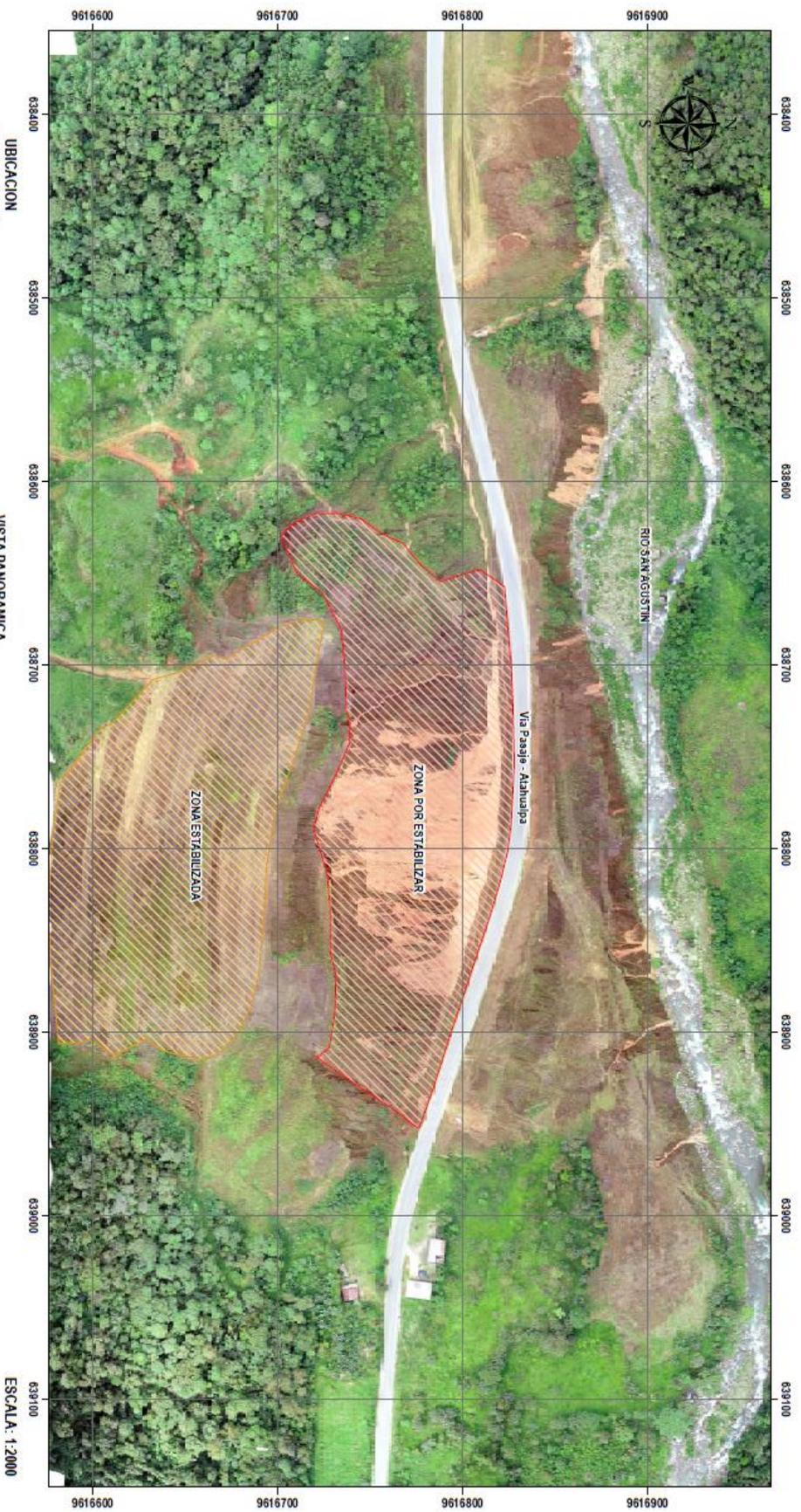
## Anexo 1



*Ilustración 1 | Corte de talud*

*Fuente: Elaboración propia*

## Anexo 2



**UBICACION**  
ESCALA: 1:100000



**VISTA PANORAMICA**



**CONTIENE:**  
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO EN ZONA DE INESTABILIDAD  
DE TALUDES EN LA VIA PASAJE - ATAHUALPA  
SECTOR DOS BOCAS

**ELABORADO:**  
UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA  
PROGRAMA DE MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL

**ESCALA: 1:2000**

### Anexo 3: Memoria fotografica



*Ilustración 12 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 13 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 14 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 15 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 16 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 17 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 18 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 19 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 20 Inspección de zona de estudio*

*Fuente: Elaboración propia*